



T/CECS XXX-202X

中国工程建设标准化协会标准

建筑索结构节点设计标准

Design standard for joints of cable structures for building

(征求意见稿)

中国计划出版社

中国工程建设标准化协会标准

建筑索结构节点设计标准

Design standard for joints of cable structures for building

T/CECS XXX-202X

主编单位：北京工业大学

中国钢结构协会空间结构分会

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X年XX月XX日

中国计划出版社

202X年 北 京

前 言

根据工程建设标准化协会《关于印发<2019年第二批工程建设协会标准制定、修订计划>的通知》（建标协字〔2019〕22号）的要求，编制组经过广泛调查研究、认真总结实践经验、参考国外先进技术资料，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

主编单位：北京工业大学

中国钢结构协会空间结构分会

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1 总则.....	1
2 术语与符号.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	3
3 类型与选型.....	5
3.1 一般规定.....	5
3.2 螺杆连接节点.....	5
3.3 索夹节点.....	7
3.4 耳板销接节点.....	11
3.5 可滑动节点.....	13
3.6 节点基本类型的组合.....	15
4 材 料.....	19
4.1 一般规定.....	19
4.2 钢材选用.....	19
4.3 连接材料选用.....	21
5 设计计算.....	23
5.1 一般规定.....	23
5.2 螺杆连接节点承载力验算.....	25
5.3 索夹节点承载力验算.....	27
5.4 耳板销接节点承载力验算.....	31
5.5 可滑动节点承载力验算.....	34
6 构造与连接.....	35
6.1 一般规定.....	35
6.2 螺杆连接节点构造与安装.....	35
6.3 索夹节点构造与安装.....	37
6.4 耳板销接节点构造与制作安装.....	38
6.5 可滑动节点构造.....	40
附录 A 常用建筑索结构形式.....	41
附录 B 常用拉索锚具类型.....	47
本标准用词说明.....	53
引用标准名录.....	54
条文说明.....	56

Contents

1 General Provisions.....	1
2 Terms and Symbols.....	2
2.1 Terms.....	2
2.2 Symbols.....	3
3 Types and Selection.....	5
3.1 General Requirement.....	5
3.2 Threaded Rod Connection Joint.....	5
3.3 Cable Clamp Joint.....	7
3.4 Ear Plate Joint with Pin Connection.....	11
3.5 Slidable Joint.....	13
3.6 Combination of Basic Joint Types.....	15
4 Materials.....	19
4.1 General Requirement.....	19
4.2 Steel Materials.....	19
4.3 Connecting Materials.....	21
5 Design and Calculation.....	23
5.1 General Requirement.....	23
5.2 Checking of Bearing Capacity of Threaded Rod Connection Joints.....	25
5.3 Checking of Bearing Capacity of Cable Clamp Joints.....	27
5.4 Checking of Bearing Capacity of Ear Plate Joints with Pin Connection.....	31
5.5 Checking of Bearing Capacity of Slidable Joints.....	34
6 Detailing and Connection.....	35
6.1 General Requirement.....	35
6.2 Detailing and Erection of Threaded Rod Connection Joints.....	35
6.3 Detailing and Erection of Cable Clamp Joints.....	37
6.4 Detailing and Erection of Ear Plate Joints with Pin Connection.....	38
6.5 Detailing of Slidable Joints.....	40
Appendix A Common Forms of Cable Structure for building.....	41
Appendix B Common types of Cable Member Anchorage.....	47
Explanation of Wording in This Code.....	53
List of Quoted Standards.....	54
Explanation of Provisions.....	56

1 总则

1.0.1 为在建筑索结构节点的设计中贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于各种建筑索结构中螺杆连接节点、索夹节点、耳板销接节点、可滑动节点四种基本类型，以及由基本类型组合而成的节点的设计。

1.0.3 建筑索结构节点的设计除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 拉索 cable member

通过捻绕高强钢丝或锻造实心圆形钢棒所制成的索体与其锚具组成的受拉构件。

2.1.2 建筑索结构 cable structure for building

以拉索作为主要受力构件的建筑结构体系。附录 A 为常用的建筑索结构形式，包括悬挂索结构、横向加劲索结构、索网结构，双层索结构、环形索桁结构、斜拉屋盖结构、张弦梁结构、弦支穹顶、索穹顶、预应力网格结构、索拱结构，索托结构。

2.1.3 螺杆连接节点 threaded rod connection joint

将拉索与拉索、拉索与其它结构构件通过螺杆连接而形成的节点。

2.1.4 索夹节点 cable clamp joint

通过紧固高强螺栓使索夹的主体和压板夹持住索体，防止索体相对滑动而形成的拉索与相邻构件的连接节点。

2.1.5 耳板销接节点 ear plate joint with pin connection

通过销轴将相邻构件的耳板相连接的节点。

2.1.6 可滑动节点 slidable joint

根据施工或使用需要在节点处允许拉索滑动的节点。

2.1.7 索夹抗滑承载力 anti-sliding capacity of cable clamp

通过索夹和索体之间的摩擦力抵抗索夹节点两侧不平衡索力的能力。

2.1.8 初始紧固力 initial clamping force

利用高强螺栓的预拉伸压紧索体，首次紧固完成时的螺栓预拉力。

2.1.9 有效紧固力 effective clamping force

经预紧的高强螺栓发生松弛后保留的紧固力。

2.1.10 综合摩擦系数 comprehensive friction coefficient

索夹的抗滑承载力与索夹在抗滑移失效时高强螺栓总有效紧固力的比值。

2.2 符号

2.2.1 作用与作用效应

P_{tot}^0 ——索夹上索孔道两侧所有高强螺栓的初始紧固力之和；

P_{tot}^e ——索夹上所有高强螺栓的有效紧固力之和；

F_{nb} ——索夹两侧不平衡索力设计值；

N_{tr} ——螺杆轴向拉力设计值；

σ_b ——螺纹弯曲应力；

τ ——螺纹剪切应力；

N_d ——耳板轴向拉力设计值；

M ——销轴计算截面弯矩设计值；

K_M ——索夹主体和压板验算截面的抗弯应力比；

K_V ——索夹主体和压板验算截面的抗剪应力比；

K_T ——索夹主体和压板验算截面的抗拉应力比。

2.2.2 设计指标

$F_{ca,u}$ ——拉索公称破断索力；

f_{ptk} ——拉索极限抗拉强度标准值；

f_u ——钢材抗拉强度；

f ——钢材抗拉、抗弯强度设计值；

f_y ——钢材屈服强度；

f_v ——钢材抗剪强度设计值；

f_c ——钢材承压强度设计值；

f_f^w ——角焊缝强度设计值；

f_v^{pn} ——销轴的抗剪强度设计值；

f^{pn} ——销轴的抗弯强度设计值；

$N_{tr,u}$ ——螺杆极限抗拉承载力；

R_{fc} ——索夹抗滑设计承载力。

2.2.3 几何参数与截面特性

A_{eff} ——螺纹处有效截面面积；

A_{ca} ——拉索公称截面面积；

p ——螺距；

d_1 ——外螺纹大径；

d_2 ——外螺纹小径；
 d_3 ——内螺纹大径；
 H_1 ——螺纹基本牙型高度；
 b_0 ——螺牙根部宽度；
 c ——索夹平台根部至螺栓孔中心距离；
 L ——索夹夹持长度；
 h ——索夹主体和压板抗弯剪验算截面的厚度；
 h_1 ——索夹主体和压板抗拉剪验算截面的厚度；
 a ——顺受力方向，销轴孔边距主板边缘最小距离；
 b ——销轴孔边距主板两侧边缘最小距离；
 r ——贴板半径；
 d ——销轴直径；
 d_0 ——销孔直径；
 t_1 ——耳板主板厚度；
 t_2 ——耳板单侧贴板厚度；
 b_1 ——耳板主板计算宽度；
 b_2 ——耳板贴板计算宽度；
 Z ——耳板端部抗剪截面宽度；
 T ——耳板总厚度；
 t_3 ——与耳板相连的叉耳单耳板厚度；
 C ——叉耳与耳板之间的单侧间隙。

2.2.4 计算系数

γ_p ——索夹主体和压板抗弯剪验算截面的塑性发展系数；
 ϕ_R ——强度折减系数。
 γ_M ——索夹抗滑设计承载力安全系数；
 $\bar{\mu}$ ——索夹与索体间的综合摩擦系数；
 ϕ_B ——高强螺栓紧固力损失系数；
 n ——旋合圈数计算取值；
 n_v ——销轴受剪面数目。

3 类型与选型

3.1 一般规定

3.1.1 建筑结构索节点可采用螺杆连接节点、索夹节点、耳板销接节点和可滑动节点四种基本类型，也可采用基本类型的组合。

【条文说明】根据大量工程案例，本条根据与拉索直接连接节点的特点，将建筑索结构节点归纳成螺杆连接节点、索夹节点、耳板销接节点和可滑动节点四种基本类型和它们的组合，涵盖了应用于各种建筑索结构形式中不同部位的节点，以及拉索锚固、拉索张拉、拉索串联接长和拉索转折等各种传力方式。本章介绍这四种基本类型的构成和选用特点，以及采用基本类型组合而成的节点的应用特点。

3.1.2 应综合考虑建筑索结构节点的重要性、荷载特性、应力状态、几何造型等因素，选择合理的节点类型，做到构造合理简洁、传力明确、安全可靠、节约材料和施工方便。连接多根杆件的复杂节点以及建筑上有特殊外形要求时，可采用铸钢工艺制作。

3.2 螺杆连接节点

3.2.1 螺杆连接节点可用于拉索与拉索、拉索与支承构件、拉索与基础的连接，索力应直接通过螺杆传递。

3.2.2 对于需要串联的索体，可采用索-索螺杆连接（图 3.2.2）。

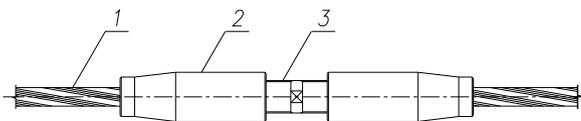


图 3.2.2 索-索螺杆连接

1—索体；2—索头；3—螺杆

【条文说明】当拉索较长时，宜先把拉索分成若干段以便于制作和运输，然后各段拉索之间通过索-索螺杆串接连接。

3.2.3 当拉索与支承构件采用螺杆连接，且索力通过螺母的承压传递时，应根据结构受力特性、建筑要求、支承构件截面等选取合适的承压位置，可采用前置式、背锚式和中间式（图 3.2.3）。

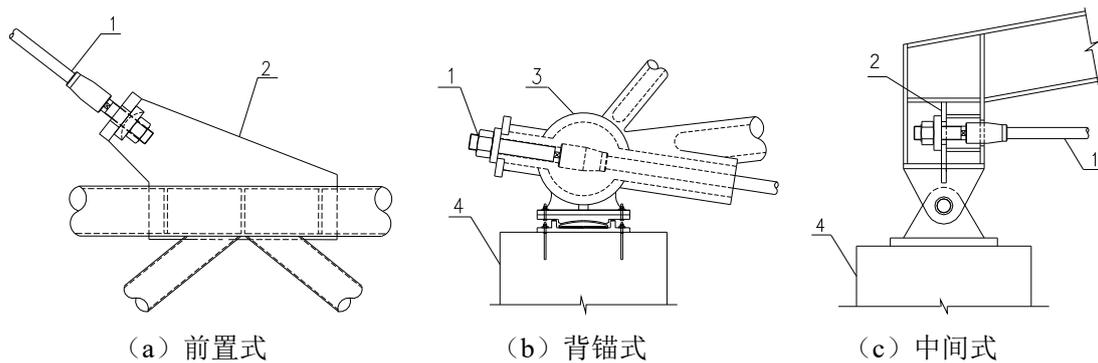


图 3.2.3 不同承压位置的螺栓连接

1-拉索；2-焊接节点；3-铸钢节点；4-支承柱

【条文说明】螺栓连接的承压位置可根据以下原则选用：索头位于结构外部时，采用前置承压；连接构件尺寸相对较小或支承构件背部空间不受限制时，承压点可布置于支承构件的背部；支承构件截面相对索体较大时，承压点可布置于结构内部。

3.2.4 当拉索与基础采用螺栓连接时，可采用双螺栓连接，双螺栓应对称布置（图 3.2.4）。

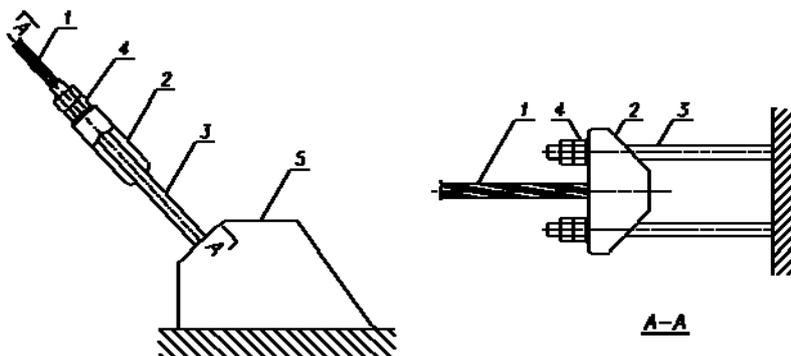
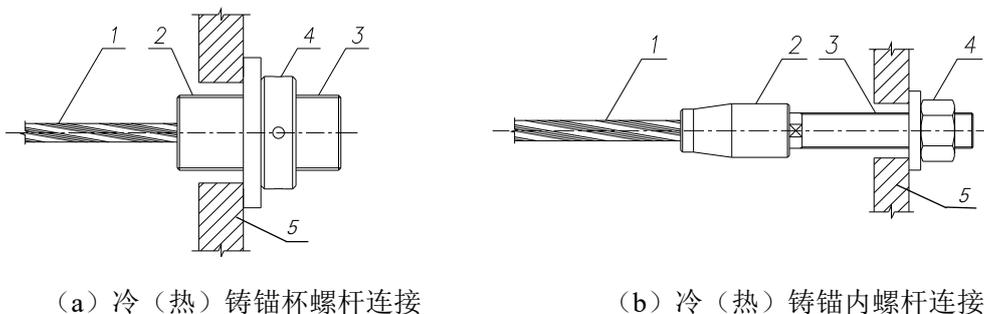


图 3.2.4 双锚杆螺栓连接

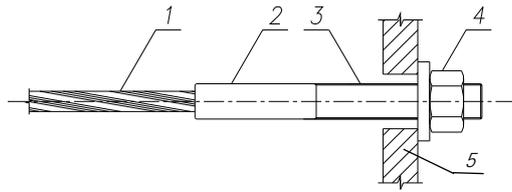
1—索体；2—索头；3—螺栓；4—螺母；5-基础

3.2.5 对于用螺母锁紧的螺栓锚固端，对于直径较大的拉索，宜采用冷（热）铸锚杯螺栓连接（图 3.2.5a）或锚内螺杆连接（图 3.2.5b）；对于直径较小的拉索可采用压制接头螺栓连接（图 3.2.5c）。



(a) 冷（热）铸锚杯螺栓连接

(b) 冷（热）铸锚内螺杆连接



(c) 压制接头螺杆连接

图 3.2.5 用螺母锁紧的螺杆锚固端

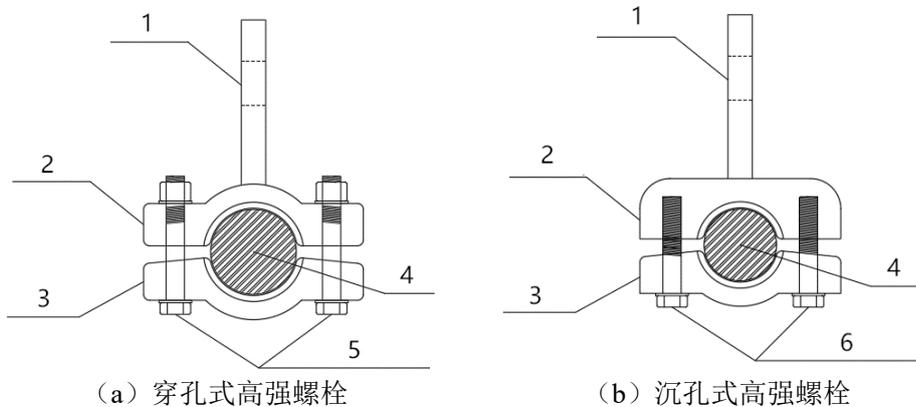
1—索体；2—索头；3—螺杆；4—螺母；5—承压板

【条文说明】拉索直径 40mm 以上时，建议采用铸锚连接；拉索直径 40mm 以下时，可采用压制接头螺杆连接。工程中当索力较大时，可根据生产工艺、结构连接节点构造、结构施工安装等要求，用多根小直径索替代大直径的索。

3.3 索夹节点

3.3.1 索夹节点应由直接与相关构件连接的主体、压板和高强螺栓组成，应通过紧固高强螺栓使主体和压板共同夹持索体，防止索夹与索体产生相对位移。

3.3.2 索夹应采用大六角头或六角头高强螺栓，可采用穿孔式或沉孔式（图 3.3.2）。



(a) 穿孔式高强螺栓

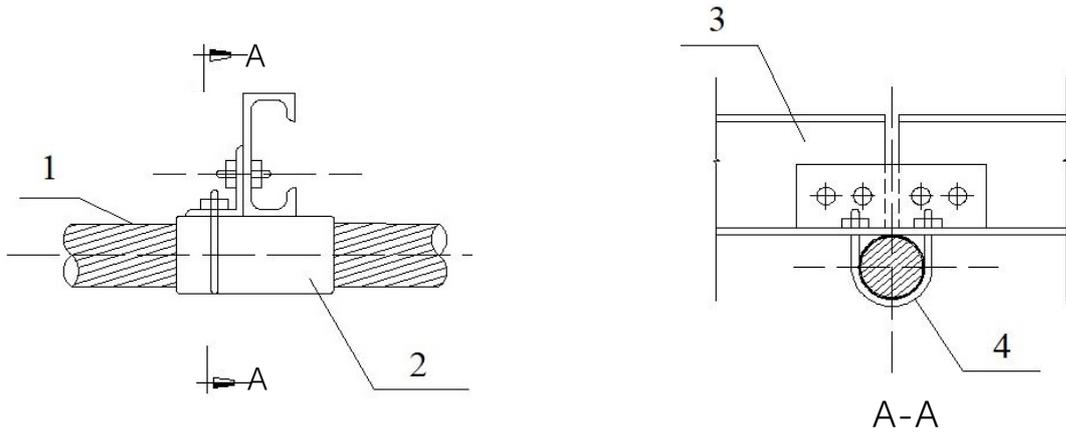
(b) 沉孔式高强螺栓

图 3.3.2 索夹螺栓的两种做法

1-索夹耳板；2-索夹主体；3-索夹压板；4-索体；5-穿孔式高强螺栓；6-沉孔式高强螺栓

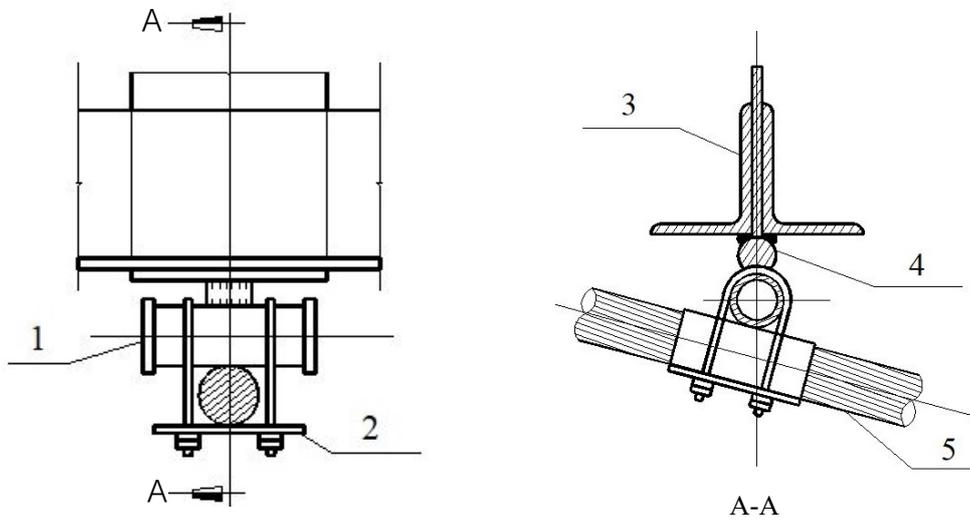
3.3.3 屋面钢檩条与拉索连接、横向加劲索系结构的拉索与加劲构件下弦的连接可采用 U 型索夹形式（图 3.3.3）。

【条文说明】U 型索夹相当于将索夹的主板（或压板）与螺栓连成一体，适用于构造简单的小型节点



(a) 钢条与拉索连接

1—索体；2—厚铅皮；3—钢钢条；4—U形索夹

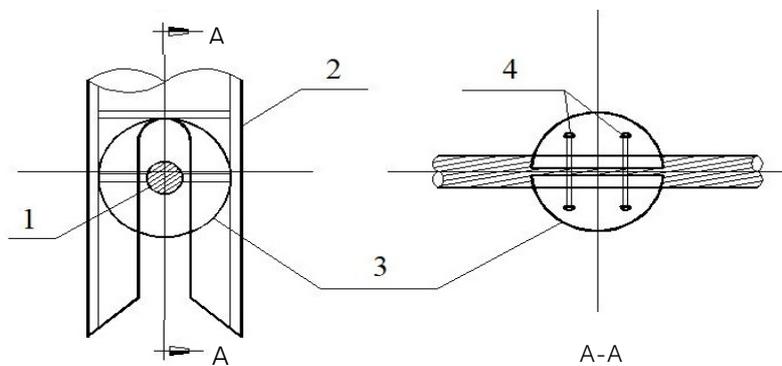


(b) 角钢桁架下弦与拉索连接

1—圆钢管；2—U形索夹；3—桁架下弦；4—圆钢；5—索体

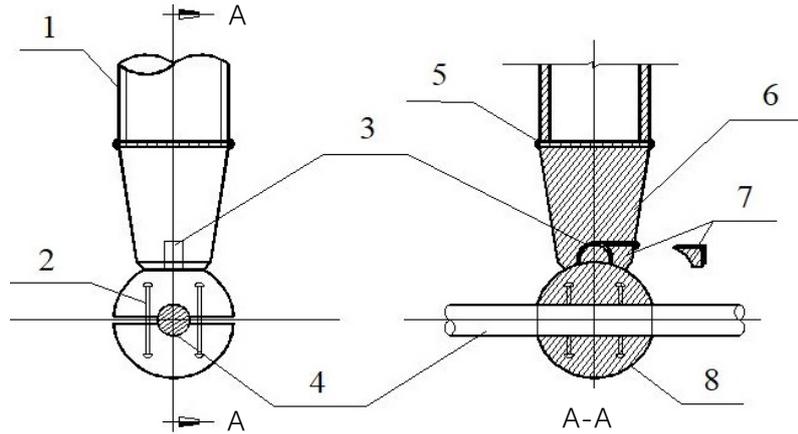
图 3.3.3 U 形索夹连接节点

3.3.4 张弦梁结构撑杆与下弦单向拉索的连接可采用球形索夹（图 3.3.4a、b）或柱形索夹（图 3.3.4c）。当下弦为双拉索时，拉索应在节点两侧平行对称排列（图 3.3.4d）。



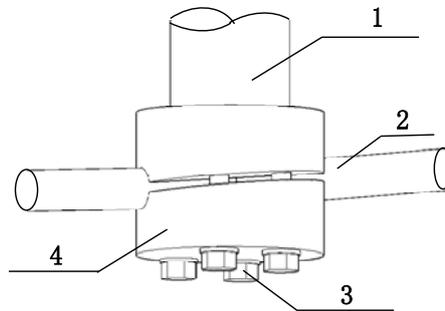
(a) 球形索夹节点在撑杆内

1—索体；2—撑杆；3—球形压板；4—紧固螺栓



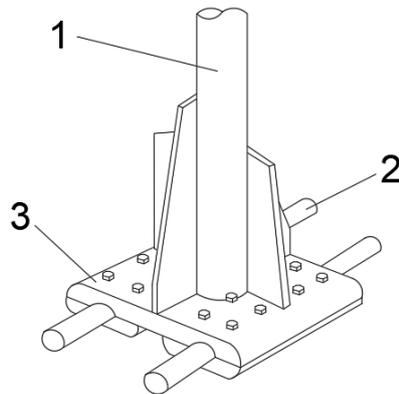
(b) 球形索夹节点在撑杆端部

1—撑杆；2—螺栓；3—圆凸钢销；4—索体；5—焊缝；6—铸钢圆锥杆；7—限位销；8—球型压板



(c) 柱形索夹节点与撑杆连接

1—撑杆；2—索体；3—高强螺栓；4—圆柱形压板

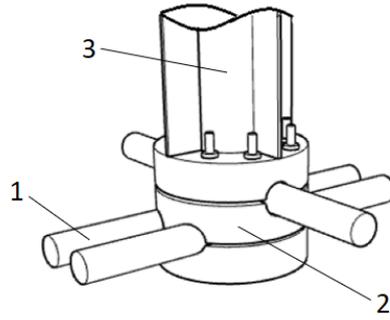


(d) 双拉索与撑杆连接

1—撑杆；2—索体；3—索夹

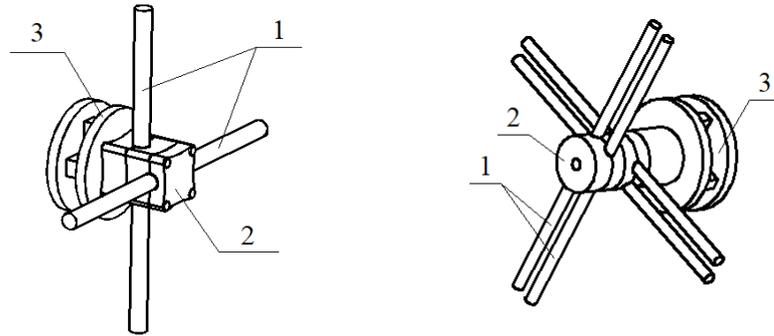
图 3.3.4 单向拉索与撑杆的连接节点

3.3.5 索网结构、幕墙索网结构、双向张弦梁结构中双向拉索的连接可采用双层索夹节点（图 3.3.5a、5b），也可采用 U 型索夹节点形式（图 3.3.5c）。



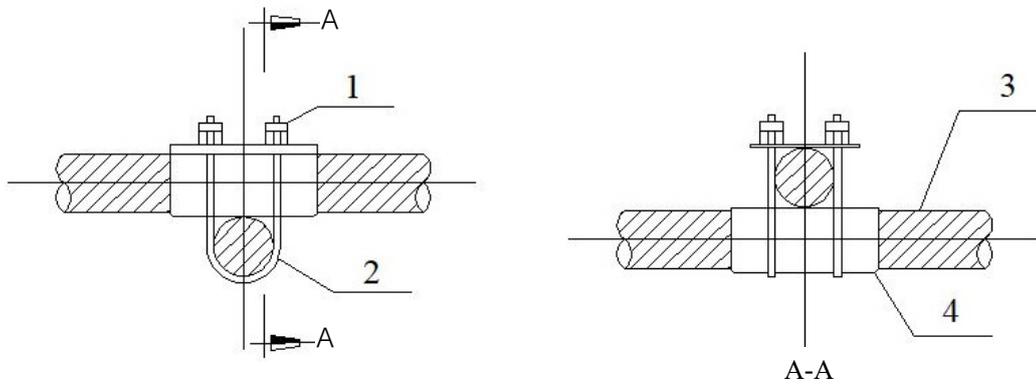
(a) 双向张弦梁结构中双层索夹节点

1-索体；2-索夹；3-撑杆



(b) 幕墙索网中双层索夹节点

1-索体；2-索夹；3-玻璃夹具



(c) 索网结构中双向拉索 U 型索夹节点

1—螺母；2—U 型索夹；3—索体；4—铅板

图 3.3.5 双向拉索的连接节点

【条文说明】工程中有时需要采用三向索网结构的形式，连接处将有三根不同方向的拉索汇交。与双向拉索连接的方式类似，可将索夹节点做成三层。

3.4 耳板销接节点

3.4.1 耳板销接节点应采用销轴连接结构耳板与索头耳板，可避免结构节点发生大转角时造成索端弯曲。

【条文说明】建筑索结构设计要求拉索应仅承受轴向拉力，而施工中拉索往往存在大变位，为避免索端弯曲，应采用销轴连接结构耳板与索头叉耳，即在耳板平面内形成铰接。

3.4.2 耳板宜采用圆形（图 3.4.2a）、环形（图 3.4.2b）等形式，也可采用带切角矩形（图 3.4.2c）。

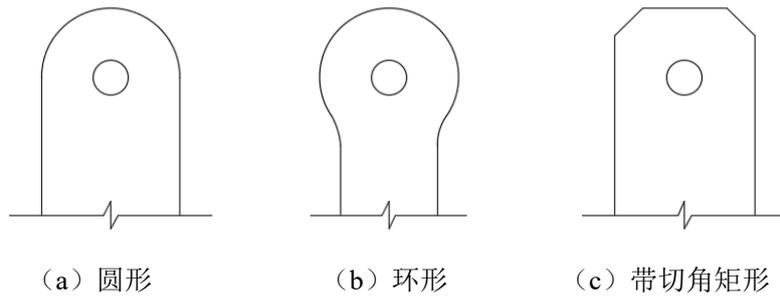


图 3.4.2 常见的耳板形式

3.4.3 对于受力较大的耳板销接节点，可在耳板主板的两侧加贴板，贴板宜和主板采用相同材料。对于钢板耳板，贴板应焊接在主板上（图 3.4.3）；对于铸钢耳板，贴板与主板宜整体铸造。

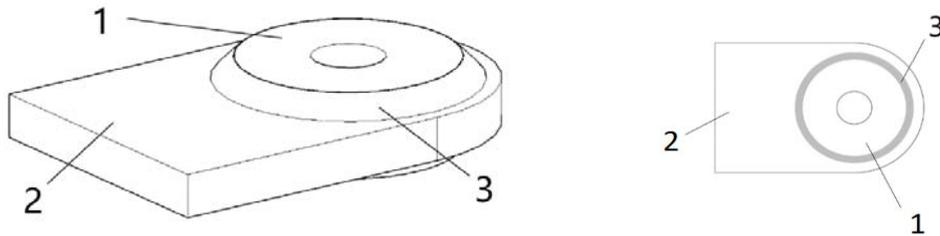


图 3.4.3 耳板加焊贴板

1-贴板；2-主板；3-焊缝

【条文说明】对于受力较大的耳板式节点，可采用在耳板的主板两侧加贴板的形式，这有利于减小主板的厚度、保证销孔局部承压和销轴抗弯。

3.4.4 对允许销轴在耳板平面外有较大转角的节点，宜采用关节轴承，如图 3.4.4。

【条文说明】关节轴承是一种球面滑动轴承，其滑动接触表面是一个内球面和一个外球面，运动时可以在任意角度旋转。关节轴承与耳板的连接应能承受销轴在耳板平面内外允许转角范围内传来的力。

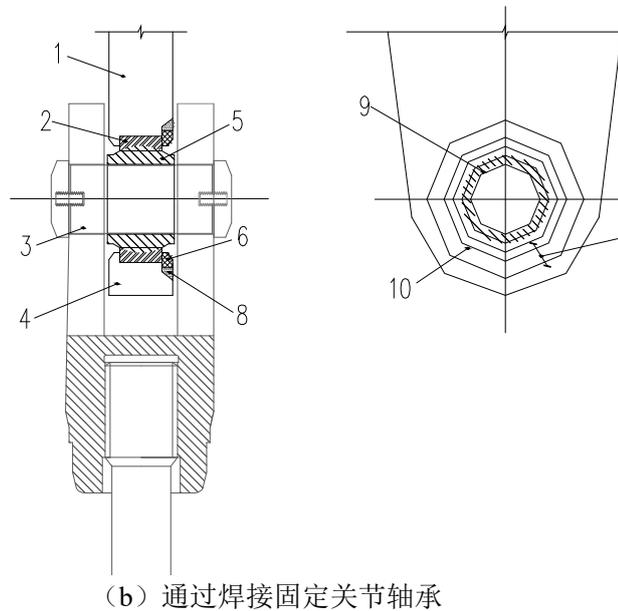
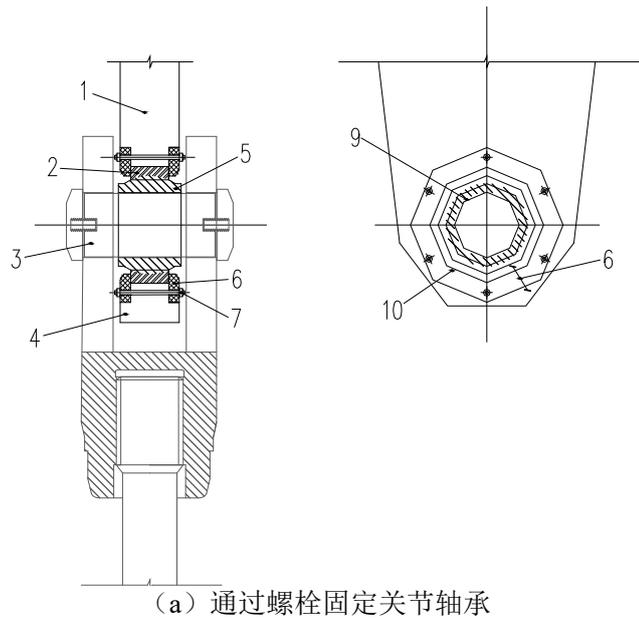


图 3.4.4 采用关节轴承的耳板式节点

1-耳板；2-关节轴承外轴套；3-销轴；4-耳板；5-关节轴承内轴套；6-限位环；7-固定螺栓；
8-连接焊缝；9-内轴套内径；10-外轴套外径

3.4.5 平面内不同方向多根拉索交汇时，可通过连接板采用耳板销轴节点连接（图 3.4.5-1），拉索轴线应交汇于一点，避免连接板偏心受力。对于交汇于桅杆顶点的多根拉索可通过设置锚板采用耳板销轴节点连接（图 3.4.5-2）。

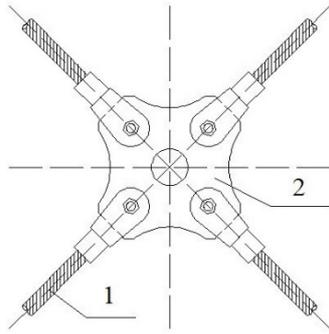


图 3.4.5-1 平面内多根拉索耳板销接连接

1—拉索；2—连接板

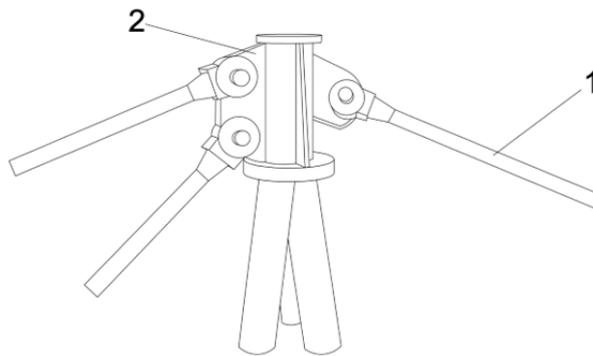


图 3.4.5-2 拉索与桅杆顶节点耳板销接连接

1-拉索；2-锚板

3.5 可滑动节点

3.5.1 可滑动节点中应设置弧形索槽或者滚动轴，拉索可沿索槽滑动或者通过滚动轴的转动在节点处滑动。

3.5.2 对于撑杆在拉索轴线平面内呈 V 字形布置的张弦梁结构和索拱结构，当通过张拉拉索施加预应力时，拉索与撑杆连接宜采用可滑动节点。

【条文说明】如图 3.5.2 所示的撑杆采用 V 字形布置的张弦梁结构，施工阶段拉索与撑杆节点须采用可滑动节点，以便能够顺利完成拉索的张拉。

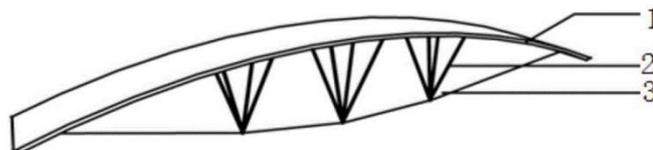


图 3.5.2 撑杆采用 V 字形布置的张弦梁结构

1-上弦刚性构件；2-撑杆；3-拉索

3.5.3 对于带有环索的结构，当采用环索张拉方式时，环索与撑杆连接宜采用可滑动节点，可

通过连接板将滚动轴固定于撑杆端部（图 3.5.3）。

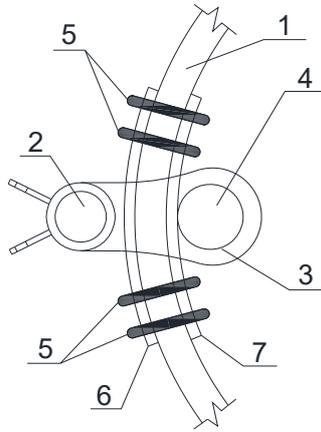


图 3.5.3 带有滚动轴的可滑动节点

1-索体；2-撑杆；3-连接板；4—滚动轴；5—压紧螺栓；6—外压板；7—内压板

【条文说明】工程经验表明，对于带有环索的结构，张拉环索时环索与撑杆连接节点的摩擦过大，会引起较大的预应力损失，利用滚动轴的滚动可以有效地减小节点与索体间的滑动摩擦力，此时需设置图 3.5.3 中所示的类似耳板的连接板来固定滚动轴。图 3.5.3 中设置的内外压板和压紧螺栓，是为了解决拉索张拉后充分固定的问题。

3.5.4 对于索托结构，拉索与结构连接的节点宜采用带有反向索槽的可滑动节点（图 3.5.4），通过弧形索槽改变拉索受力方向。

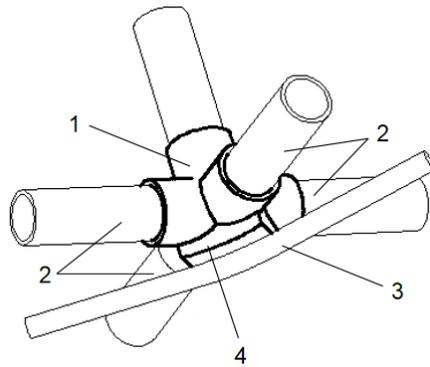


图 3.5.4 索托节点

1-铸钢件；2-弦杆；3-索体；4-索槽

3.5.5 对于拉索需要通过索塔顶节点改变方向时，可采用带有索槽的索鞍。沿拉索方向，索槽应符合拉索弯曲形状（图 3.5.5）。

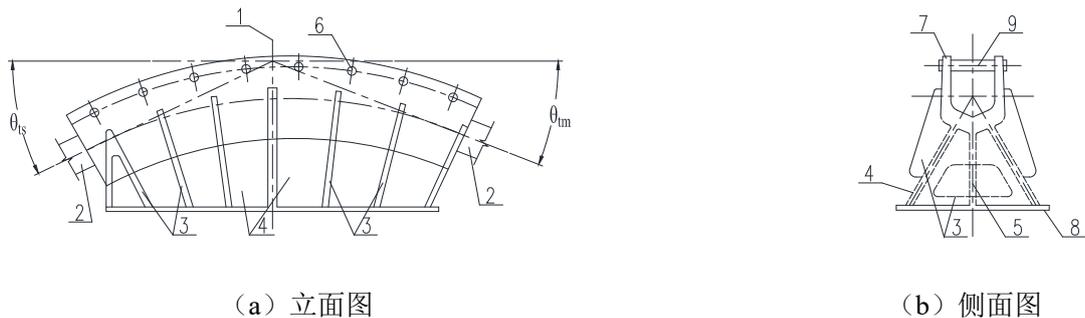


图 3.5.5 索鞍

1—塔中心线；2—索体；3—横肋；4—外壳；5—纵肋；6—拉杆孔；7—索槽；8—底板；9—拉杆

3.6 节点基本类型的组合

3.6.1 螺杆连接节点与相连构件需要铰接时，可采用与耳板销接节点组合的形式（图 3.6.1）

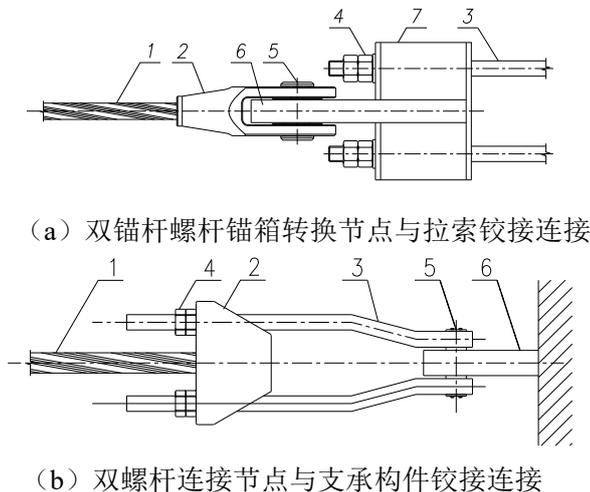


图 3.6.1 螺杆连接节点与耳板销接节点组合

1—索体；2—索头；3—螺杆；4—螺母；5—销轴；6—耳板；7—锚箱

3.6.2 双向张弦梁结构撑杆下节点中，当一个方向的拉索需断开时，可采用索夹节点和耳板销接节点组合的形式（图 3.6.2）。

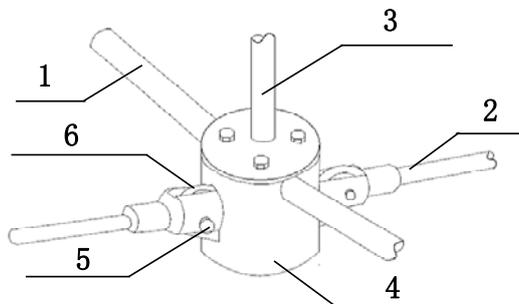


图 3.6.2 双向张弦结构撑杆下节点

1—一个方向的拉索；2—另一方向的拉索；3—撑杆；4—索夹节点；5—销轴；6—耳板

3.6.3 索网结构、幕墙索结构、双层索系中拉索和柔性边索的连接可采用索夹节点与耳板销接节点组合的形式（图 3.6.3）。

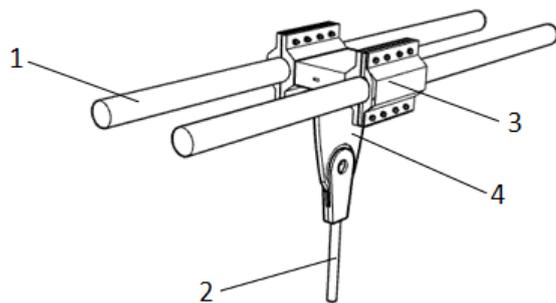
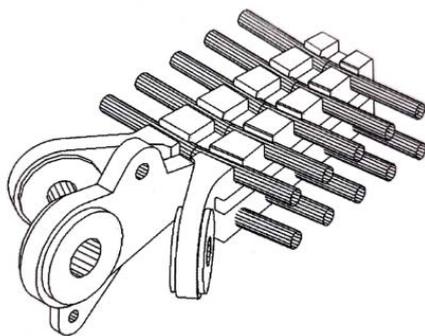


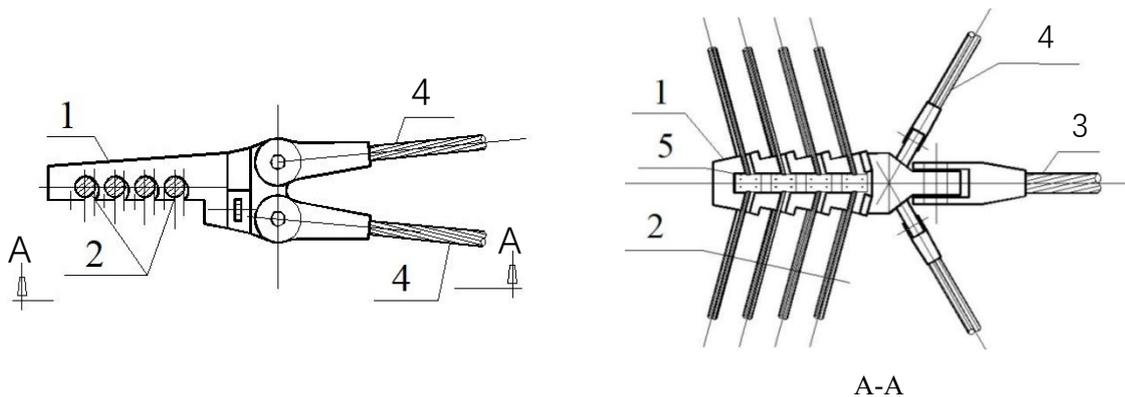
图 3.6.3 拉索与柔性边索的连接节点

1—柔性边索；2—拉索；3—索夹节点；4—耳板销接节点

3.6.4 张弦梁结构、弦支穹顶和索穹顶中径向索与环索的连接节点可采用索夹节点与耳板销接节点组合形式，其中索夹的主体与耳板或撑杆可采用铸钢制作成整体件（图 3.6.4）。

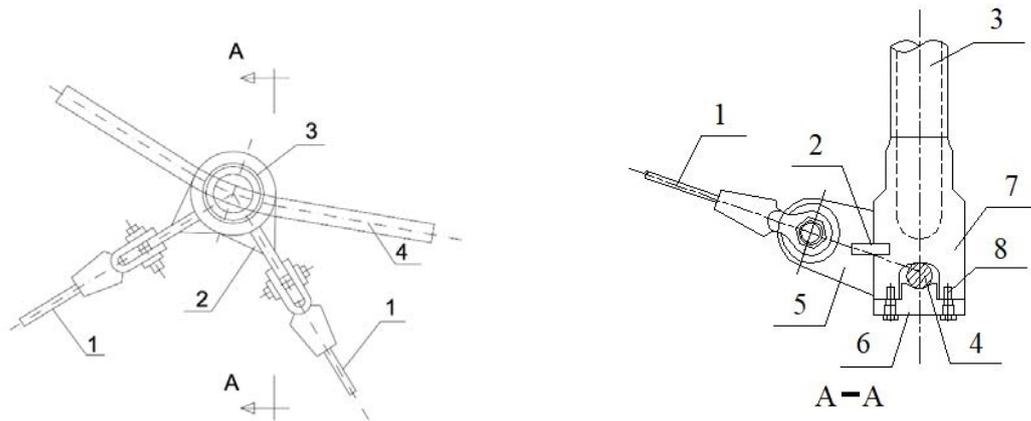


(a) 铸钢制作的带耳板索夹主体



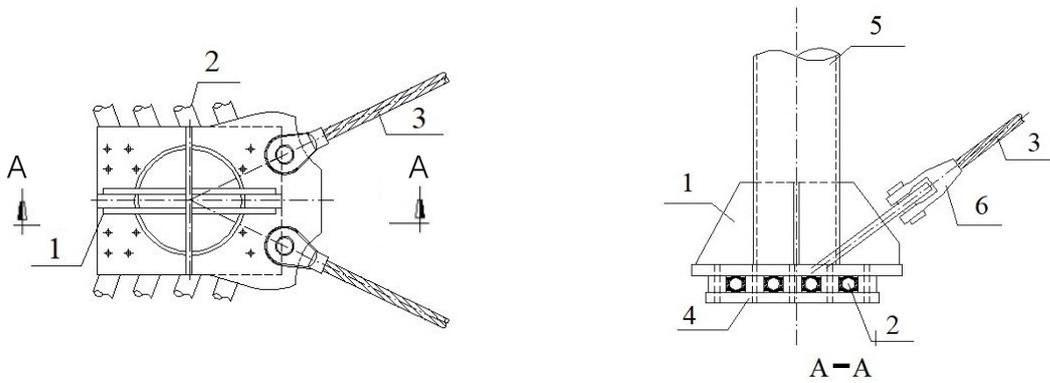
(b) 径向索与环索的连接节点

1—铸钢索夹主体；2—环索；3—径向索；4—斜索；5—索夹压板



(c) 径向索、单根环索和撑杆连接节点

1—斜索；2—加劲肋；3—撑杆；4—环索；5—耳板；6—索夹压板；7—铸钢索夹主体；8—固定螺栓



(d) 径向索、多根环索和撑杆连接节点

1—铸钢索夹主体；2—环索；3—径向索；4—索夹压板；5—撑杆；6—索头叉耳

图 3.6.4 索夹主体与耳板或撑杆整体制作的节点

3.6.5 屋面钢檩条与拉索的连接需要铰接时，可采用索夹节点与耳板销接节点组合的形式（图 3.6.5）。

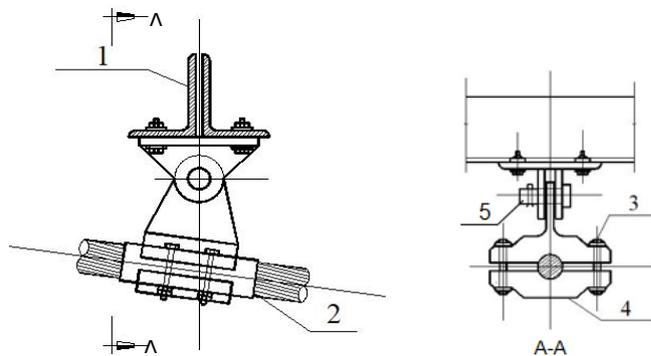


图 3.6.5 屋面钢檩条与拉索铰接连接

1—桁架式檩条下弦；2—索体；3—螺栓；4—铸钢索夹；5—销轴

3.6.6 使用阶段需要固定拉索的可滑动节点可采用与索夹节点组合的形式（图 3.6.6-1、2）。

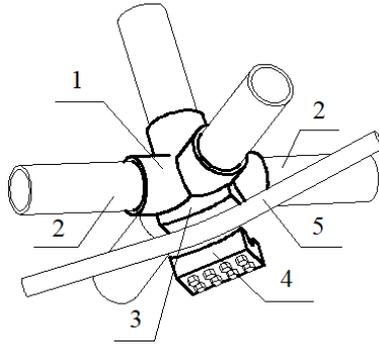


图 3.6.6-1 带索槽可滑动节点与索夹节点组合

1—铸钢件；2—弦杆；3—索槽；4—压板；5—索体

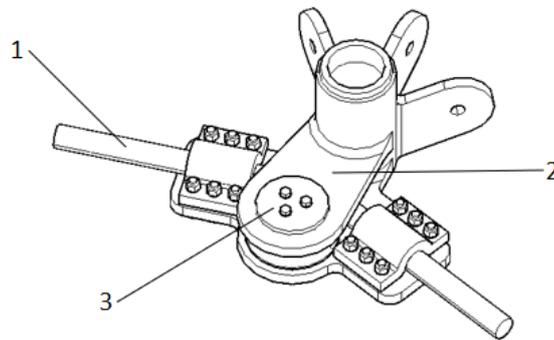


图 3.6.6-2 带滚动轴可滑动节点与索夹节点组合

1—索体；2—索夹；3—滚动轴

【条文说明】可滑动节点与索夹节点组合的工作原理是：施工阶段索夹是放松的，允许拉索与节点有相对滑动。张拉拉索到位后，紧固索夹，不再允许拉索滑动，进入使用阶段。

4 材料

4.1 一般规定

4.1.1 建筑索结构节点材料和连接件材料应综合考虑节点连接方式、受力状态、工作环境以及外形尺寸等因素选用。

4.1.2 用于节点的热轧钢材、铸钢件和不锈钢材料应符合下列要求：

1 应具有屈服强度、抗拉强度、伸长率等力学性能的合格保证。对于热轧钢材尚应具有冷弯试验的合格保证；

2 应具有碳、硅、锰、硫、磷、微量合金元素等化学成分的合格保证；

3 涉及焊接时，应具有良好的焊接性能，其碳当量或焊接裂纹敏感性指数应符合相关标准的规定；

4 抗震设防时，钢材的屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值应不大于 0.85，伸长率应不小于 20%，应具有明显的屈服台阶及合格的冲击韧性。

4.1.3 当用于节点的钢材处于外露环境或处于腐蚀性气态和固态介质作用下时，宜采用耐候钢，其质量应符合现行国家标准《耐候钢结构钢》GB/T 4171 的规定。

4.1.4 用于节点的铸钢件壁厚不宜大于 150mm，当壁厚很大时应考虑厚度效应引起的屈服强度、伸长率、冲击功等的降低。

4.2 钢材选用

4.2.1 用于节点的热轧钢材宜采用 Q235、Q355、Q390 和 Q420 钢，其质量应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定，并应符合下列规定：

1 质量等级不宜低于 B 级；

2 工作温度低于 -20℃ 的受拉板件及构件，钢材厚度或直径不大于 40mm 时，质量等级不宜低于 C 级；当钢材厚度或直径大于 40mm 时，质量等级不宜低于 D 级；

3 应具有较小的厚度效应，其强度折减幅度不宜大于 10%。对于板厚 $t=50\sim 100\text{mm}$ 的板件，应选用符合现行国家标准《建筑结构用钢板》GB 19879 的优质低合金钢（C、D、E 级）。

4 当钢板厚度 $t\geq 40\text{mm}$ ，并有沿厚度方向的撕裂拉力作用时，应具有厚度方向抗撕裂性能

即 Z 向性能的合格保证，其沿板厚方向断面收缩率不小于按现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB / T 5313 规定的 Z15 级允许限值。

5 当钢板厚度大于 50mm 时，应进行超声波探伤检查，并应符合现行国家标准《厚钢板超声检测方法》GB/T 2970 中 II 级的规定。

【条文说明】当抗震设防烈度或重要性类别较高时，应选用其中较高的质量等级。其焊接性能可由现行标准规定的碳当量或焊接裂纹敏感指数限值等予以保证。当对钢板有 Z 向性能要求一般时可选用 Z15 级钢，抗震设防烈度更高且重要性类别亦较高时可选用 Z25 级，当有更高要求时也可选用 Z35 级钢。

4.2.2 用于焊接节点的铸钢件宜采用牌号 ZG230-450H、ZG270-480H、ZG300-500H 和 ZG340-550H 的铸钢件，其质量应符合现行国家标准《焊接结构用铸钢件》GB/T 7659 的规定；也可采用牌号 G17Mn5QT、G20Mn5N 和 G20Mn5QT 的铸钢件，其质量应符合现行行业标准《铸钢结构技术规程》JGJ/T 395 第 A.0.1 条的规定。

4.2.3 用于非焊接节点的铸钢件宜采用牌号 ZG230-450、ZG270-500、ZG310-570 和 ZG340-640 的铸钢件，其质量应符合现行国家标准《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352 的规定。

4.2.4 用于节点的不锈钢材料宜采用牌号 06Cr19Ni10(S30408)、022Cr19Ni10(S30403)、06Cr17Ni12Mo2(S31608)、022Cr17Ni12Mo2(S31603)奥氏体型不锈钢和 022Cr23Ni5Mo3N(S22053)、022Cr22Ni5Mo3N(S22253)双相型不锈钢，其质量应分别符合现行国家标准《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》GB/T 20878、《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237 和《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280 的规定。当有可靠依据时，可采用其他牌号的不锈钢。

4.2.5 索夹节点的主板和压板可采用低合金钢、铸钢或不锈钢制作。

【条文说明】在高强螺栓紧固力的作用下，发生一定塑性变形的索夹有利于索体表面均匀受压，更好地夹持住索体，因此索夹材料必须有较好的塑性变形能力，强度不必过高。

4.2.6 耳板宜采用具有良好延性的热轧钢材或铸钢制作，有焊接需要时应具有良好的焊接性能。

【条文说明】要求耳板受拉破坏形态为延性破坏，不能为脆性破坏，故耳板材料应采用具有良好延性的碳素钢、低合金钢或者铸钢，当需要焊接时耳板应具有良好的焊接性能。

4.2.7 索鞍鞍体和索槽可采用热轧钢材或铸钢制作。

4.2.8 销轴宜采用 45 号钢、35CrMo、40Cr 等钢材制作，其质量应符合现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T699 或《合金结构钢》GB/T 3077 的规定。

4.2.9 关节轴承所用轴承钢、轴承套圈和滚动体的材料应符合现行国家标准《滚动轴承通用技术规则》GB/T 307.3 的规定。

4.3 连接材料选用

4.3.1 用于节点的紧固件材料应符合下列规定，并按 4.3.2 条的规定选用：

1 普通螺栓宜采用 4.6 或 4.8 级 C 级螺栓，其性能与尺寸规格应符合现行国家标准《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1、《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780 和《六角头螺栓》GB/T 5782 的规定；

2 高强度螺栓的质量应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228，《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229，《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230，《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231 的规定；

3 不锈钢螺栓的质量应符合现行国家标准《紧固件机械性能不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6 和《紧固件机械性能不锈钢螺母》GB/T 3098.15 的规定，不锈钢锚栓可采用与连接构件同种类的不锈钢制成。

4.3.2 用于节点的紧固件材料选用应符合下列规定：

1 高强螺栓强度级别宜选用 8.8 级和 10.9 级；

2 索夹节点的紧固件应采用大六角头高强螺栓；

3 用于索夹节点的沉孔式高强螺栓强度级别宜选用 8.8 级；

4 与基础连接的锚固螺杆可采用热轧钢材制作，并应满足 4.2.1 条的规定；

5 其它螺杆连接中的螺杆杆体及组件强度级别可采用 4.6 级、4.8 级、8.8 级、10.9 级等，其原材料质量应符合现行国家标准《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 和《合金结构钢》GB/T 3077、《优质碳素结构钢》GB/T 699 等的规定。

【条文说明】由于索夹受力情况较为复杂，且高强螺栓预紧后会出现明显的紧固力损失，因此应采用大六角头螺栓，不应采用扭剪型高强螺栓，以便根据实际情况调整预紧力或二次预紧。索夹节点采用沉孔式高强螺栓时，索夹主板上的内螺牙长度应保证施工预紧高强螺栓时螺牙处于弹性应力状态。由于索夹材料强度远低于高强螺栓，沉孔的内螺牙强度较低，需要较长的螺牙长度。但根据螺牙受力特性，过长的远端螺牙不能有效承载，因此受索夹主板上沉孔内螺牙承载力限制，沉孔式高强螺栓宜选用强度相对较低的 8.8 级。

4.3.3 用于节点的焊接材料应符合下列规定，并按 4.3.4 条的规定选用：

1 手工焊接所用的焊条应符合现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117、《热强钢焊条》GB/T 5118 或《不锈钢焊条》GB/T 983 的规定要求。

2 自动焊接或半自动焊接采用的焊丝和相应的焊剂应符合现行国家标准《熔化焊用钢丝》GB/T 14957、《气体保护焊用钢丝》GB/T 14958、《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》

GB/T 8110、《非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝》GB/T 10045、《热强钢药芯焊丝》GB/T 17493、《不锈钢药芯焊丝》GB/T 17853 或《埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂》GB/T 17854 的规定；

3 埋弧焊用焊丝和焊剂应符合现行国家标准《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 5293 和《埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 12470 的规定。

4.3.4 用于节点的焊接材料选用应符合下列规定：

1 焊条、焊丝及焊剂型号应与母材性能相适应，对直接承受动力荷载或振动荷载且需要验算疲劳的节点，宜采用低氢型焊条。

2 两种不同强度级别同类不锈钢相焊接时，宜采用与主体金属强度较低的一种钢材相适应的焊条或焊丝，不宜将不同类的不锈钢材料焊接。

3 焊接工艺应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661 的规定，对于壁厚较厚和形状复杂的节点，焊接材料应通过专门的焊接工艺评定确定。

5 设计计算

5.1 一般规定

5.1.1 节点设计时，应综合考虑节点的传力方式、美观要求并结合索体和节点锚具类型等确定节点连接形式和具体构造。常用拉索锚具类型可参见附录 B。

【条文说明】本条说明了节点选型时要考虑的一些主要因素。在节点设计之前，首先需综合考虑节点传力方式和建筑外观等进行概念设计，一旦确定了索体和锚具类型，节点连接类型也就确定下来，然后才是具体的设计计算与构造设计。附录 B 汇总了目前工程中常用的拉索锚具类型和参数范围，可供设计时参考。

5.1.2 对于四种基本类型节点，应按照本标准第 5.2、5.3、5.4、5.5 节的规定进行承载力验算。

【条文说明】本章第 5.2、5.3、5.4、5.5 节对四种基本类型节点给出的承载力验算要求和具体的计算公式，是根据我国大量研究与工程经验总结、参照相关标准的规定并借鉴国外标准的相关研究成果给出的，直接用于建筑索结构节点设计更为方便。

5.1.3 对于由基本类型组合而成的节点，除了应分别对各基本节点部分进行承载力验算外，尚应进行整体节点的承载力验算，并应考虑节点变形的影响。

【条文说明】对于组合而成的节点，应对各部分分别进行承载力验算，同时要验算整体节点的薄弱部位。由于实际工程中的节点构造需考虑制作工艺和安装的要求，节点的刚度、嵌固能力等有时难以达到与计算分析所假定的一致，同时也要防止因节点过度变形而不适于继续承载，所以在整体节点分析和设计时应考虑节点变形的影响。

5.1.4 对于构造和受力复杂的节点宜采用通用有限元软件进行整体数值模拟分析，验算其承载力和变形时应符合下列规定：

1 数值分析模型应具有与实际节点相符的构造、形式、荷载及约束条件；节点承受多种荷载工况时，应对各种起控制作用的荷载组合进行计算。

2 弹塑性有限元分析中，节点材料的应力-应变曲线可采用具有一定强化刚度的双折线模型。

3 节点的极限承载力可根据弹塑性有限元分析得出的荷载-位移全过程曲线确定。节点承载力设计值应不大于弹塑性有限元分析所得极限承载力的 1/2，且应不小于拉索内力设计值的 1.25 倍。

【条文说明】采用通用有限元软件进行节点整体数值模拟分析宜采用实体单元，径厚比或宽厚比不小于 10

的部位可采用板壳单元；有限元分析中，采用理想弹塑性本构关系模型时收敛性较差，所以可采用具有一定强化刚度的双折线模型，第二段折线的弹性模量取第一段的 2%~5%时比较容易收敛于真解。复杂应力状态下的强度准则一般采用 Von Mises 屈服条件。当有限元分析得出的荷载-位移曲线具有明显的极值点时，可取极值点为极限承载力；当曲线不具有明显的极值点时，可取荷载-位移曲线中刚度首次减小为初始刚度 10%时的荷载为极限承载力。工程中，建筑索结构复杂节点多采用铸钢制作，考虑弹塑性有限元分析的不定性，为保证总安全系数不小于 2.5，本条规定了节点承载力设计值应不大于分析所得极限承载力的 1/2，与现行行业标准《铸钢结构技术规程》JGJ/T 395 的规定是一致的。考虑强节点弱构件的原则，本条规定了节点承载力设计值应不小于拉索内力设计值的 1.25 倍，与现行行业标准《索结构技术规程》JGJ 257 的规定是一致的。

5.1.5 节点中以受拉为主的焊缝质量等级应为一級，其它焊缝的质量等级应不低于二级。

5.1.6 对于采用新材料或新工艺的重要、复杂节点，可根据实际情况进行足尺或缩尺模型的检验性或破坏性试验，节点模型试验的荷载工况应与节点实际受力状态相符。检验性试验中，同一类型的试件不宜少于 2 件。对于检验性试验，试验荷载应不小于节点承载力设计值的 1.3 倍；对于破坏性试验，试验荷载应不小于承载力设计值的 2.0 倍。

【条文说明】目前常用金属材料的本构关系比较明确，精细化有限元分析的结果也已经比较可靠，但对于采用新材料或新工艺制作的节点，其材料性能及本构关系等需要通过试验确定时，可进行节点模型试验。试验可分为检验性试验和破坏性试验。对于小尺寸节点，可进行破坏性试验；对于较大尺寸和承载力高的节点，从试验条件和费用方面考虑，不要求必须进行破坏性试验，可通过检验性试验确定其应力分布状况及应力是否在弹性范围内，处于弹性状态的试件仍可应用到实际工程中。考虑到材料性能的离散性等因素，本条参考现行行业标准《铸钢结构技术规程》JGJ/T 395 和《网格结构技术规程》JGJ 7，规定破坏性节点试验的荷载应不小于其承载力设计值的 2.0 倍。

5.1.7 应根据设计使用年限、节点材料、结构形式、使用要求、环境条件、施工和维护管理条件等进行节点防腐蚀与防火设计，应符合下列要求：

1 节点应按现行国家和行业标准《钢结构设计标准》GB 50017、《索结构技术规程》JGJ 257、《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JG/T 251 和《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046 等要求进行防腐蚀设计，并提出施工和维护要求。

2 节点耐火极限应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的规定，且应不低于与节点相连构件的最高耐火极限，节点的防火设计应符合现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51294 的规定。

5.1.8 直接承受动力荷载的节点中的板件、螺杆、销轴和焊缝等，当应力变化的循环次数 n 不小于 5×10^4 次时，应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定进行疲劳验算。

5.2 螺杆连接节点承载力验算

5.2.1 螺杆连接节点应进行螺杆抗拉承载力和螺纹承载力验算，对其支承构件应进行局部承压与抗冲切验算。

5.2.2 螺杆抗拉承载力验算应符合下列规定：

1 连接拉索与拉索及成品索部件的螺杆抗拉承载力应按式（5.2.2-1）进行验算：

$$N_{tr,u} \geq F_{ca,u} \quad (5.2.2-1)$$

2 连接拉索与支承构件及作为锚杆连接拉索与基础的螺杆抗拉承载力应按式（5.2.2-2）进行验算：

$$\frac{N_{tr}}{A_{eff}} \leq f \quad (5.2.2-2)$$

式中： $N_{tr,u}$ ——螺杆极限抗拉承载力，取值为 $A_{eff} f_u$ (N)；

$F_{ca,u}$ ——拉索公称破断索力，取值为 $A_{ca} f_{pk}$ (N)；

N_{tr} ——螺杆轴向拉力设计值，宜取拉索内力设计值的 1.25~1.5 倍(N)；

A_{eff} ——螺纹处有效截面面积，其中 $A_{eff} = \frac{\pi}{4} d_e^2$ ，普通螺纹 $d_e = d_1 - 0.9382 p$ ，梯形螺纹

$d_e = d_1 - p$ ；螺杆表面有钻孔或开槽时， A_{eff} 取螺纹有效面积与钻孔或开槽处净面积二者中的较小值 (mm²)；

A_{ca} ——拉索公称截面面积 (mm²)；

f_u ——螺杆钢材抗拉强度 (N/mm²)；

f ——螺杆钢材抗拉强度设计值 (N/mm²)；

f_{pk} ——拉索极限抗拉强度标准值 (N/mm²)；

d_e ——螺纹有效直径 (mm)；

d_1 ——外螺纹大径 (mm)；

p ——螺距 (mm)。

【条文说明】连接拉索与拉索及作为成品索部件螺杆的极限承载力不低于拉索极限抗拉承载力，并应符合现行国家标准《索结构技术规程》JGJ257 锚具以及连接件的相关规定。连接拉索与支承构件及作为锚杆连

接拉索与基础的螺杆，可按照拉索内力设计值并考虑节点放大系数 1.25~1.5 确定。作为成品索部件的螺杆，一般由拉索生产厂家设计加工。螺杆之间也常用套筒相连接，套筒按照与螺杆等强设计。

5.2.3 螺纹尺寸、材料等应按现行国家标准《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T3098.1 选用，也可按式（5.2.3-1、2、3、4）和图 5.2.3 估算螺纹承载力，并宜通过试验检验。

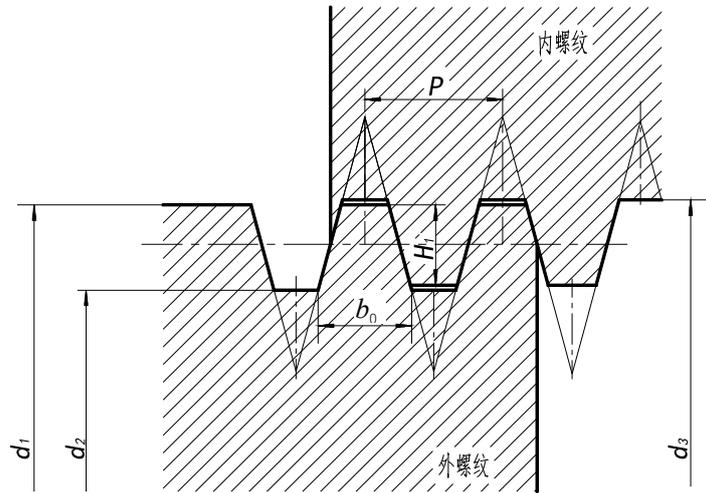


图 5.2.3 螺纹基本尺寸

1 外螺纹弯曲应力宜按式（5.2.3-1）进行验算：

$$\sigma_b = \frac{3N_{tr,u}H_1}{\pi d_2 b_0^2 n} \leq f_u \quad (5.2.3-1)$$

2 外螺纹剪应力宜按式（5.2.3-2）进行验算：

$$\tau = \frac{N_{tr,u}}{\pi d_2 b_0 n} \leq 0.58f_y \quad (5.2.3-2)$$

3 内螺纹弯曲应力宜按式（5.2.3-3）进行验算：

$$\sigma_b = \frac{3N_{tr,u}H_1}{\pi d_3 b_0^2 n} \leq f_u \quad (5.2.3-3)$$

4 内螺纹剪应力宜按式（5.2.3-4）进行验算：

$$\tau = \frac{N_{tr,u}}{\pi d_3 b_0 n} \leq 0.58f_y \quad (5.2.3-4)$$

式中： σ_b ——螺纹弯曲应力（N/mm²）；

τ ——螺纹剪切应力（N/mm²）；

$N_{tr,u}$ ——螺杆的极限抗拉承载力（N）；

d_1 ——外螺纹大径（mm）；

P ——螺距（mm）；

d_2 ——外螺纹小径（mm）；

H_1 ——基本牙型高度，对于普通螺纹， $H_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{5}{8} P$ ，对于梯形螺纹， $H_1 = 0.5P$ (mm)；

b_0 ——牙根部宽度，对于普通螺纹， $b_0 = 0.87P$ ；对于梯形螺纹 $b_0 = 0.65P$ (mm)；

n ——旋合圈数计算取值，不宜大于 10；

d_3 ——内螺纹大径 (mm)；

f_u ——螺纹钢材抗拉强度 (N/mm²)；

f_y ——螺纹钢材屈服强度 (N/mm²)。

【条文说明】标准螺纹尺寸及构造要求已成熟，可按照现行国家标准《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T3098.1 直接选用。工程中螺杆直径越来越大，有些已超过上述标准中所提供的尺寸范围；此外，有些新材料也在螺杆中应用，上述现行国家标准中尚未涵盖。为方便这些螺杆螺纹设计，参考《机械设计手册》螺纹强度计算公式，并结合国内外研究成果，按照螺纹与螺杆等强的原则，给出了螺纹验算公式。由于螺纹受力复杂，产品加工后，对重要的螺纹连接节点应根据《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T3098.1，对螺纹进行试验验证，确保节点连接安全。与螺杆相连接的套筒等的内螺纹，可由套筒等的材质，根据现行国家标准《紧固件机械性能 螺母》GB/T3098.2 选用。

5.2.4 螺杆连接的支承构件应按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 或《钢结构设计标准》GB50017 的规定进行局部承压与抗冲切验算。

【条文说明】索体与支承构件之间采用螺杆连接时，一般在支承构件预留孔道，连接螺杆穿过孔道再通过螺帽、垫板等把索拉力传递到钢、混凝土等支承构件。因索体锚具端头比螺杆直径大，所以预留孔洞直径较螺杆直径要大很多，从而造成螺杆螺帽及承压板与后锚固体接触面较小，导致局部压力很大；因局部压力大，若接触构件较薄时，容易发生冲切破坏。因此，局部承压及较薄构件的冲切是节点验算控制的关键点。

5.3 索夹节点承载力验算

5.3.1 索夹节点应进行索夹强度承载力和抗滑移承载力验算。

5.3.2 索夹主体和压板的 A-A、B-B 截面（图 5.3.2）的强度承载力验算应符合以下规定：

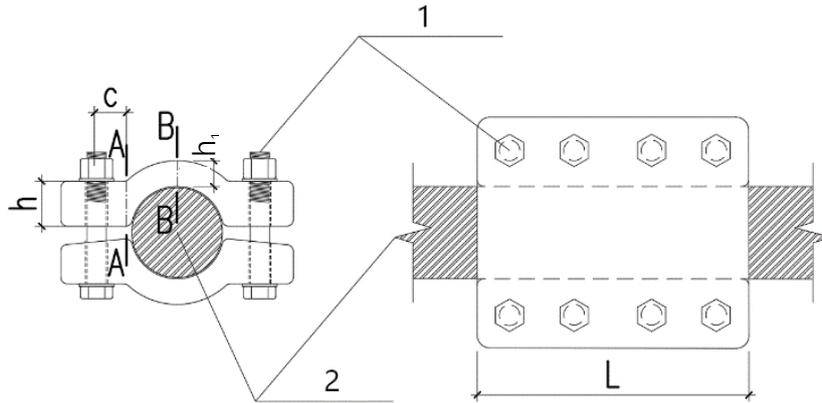


图 5.3.2 主体和压板计算截面

1-高强螺栓；2-索体

1 A-A 截面的抗弯应力比和抗剪应力比应分别满足式 5.3.2-1 和 5.3.2-2 的要求。

$$K_M = \frac{3.0P_{tot}^0 c}{Lh^2 f \gamma_P} \leq 1 \quad (5.3.2-1)$$

$$K_V = \frac{0.75P_{tot}^0}{Lh f_V} \leq 1 \quad (5.3.2-2)$$

2 B-B 截面的抗拉应力比应满足式 5.3.2-3 的要求。

$$K_T = \frac{0.5P_{tot}^0}{Lh_1 f \phi_R} \leq 1 \quad (5.3.2-3)$$

式中： P_{tot}^0 ——索孔道两侧所有高强螺栓的初始紧固力之和（N），单个高强螺栓的初始紧固力

按 5.3.3 条确定；

c ——平台根部至螺栓孔中心距离（mm）；

L ——索夹夹持长度（mm）；

h ——A-A 截面厚度（mm）；

h_1 ——B-B 截面厚度（mm）；

f ——钢材抗弯强度设计值；

f_V ——钢材抗剪强度设计值（N/mm²）；

γ_P ——A-A 截面塑性发展系数，取 1.1；

ϕ_R ——强度折减系数，宜取 0.45。

3 对于受力复杂的铸钢索夹宜通过弹塑性实体有限元分析确定其极限承载力。

【条文说明】强度折减系数 ϕ_R 取值参考了《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65-05 中 11.4.3 条的规定。

5.3.3 高强螺栓的初始紧固力可按表 5.3.3 确定，也可由试验确定，但不宜超出表中数值的 15%。

表 5.3.3 一个高强度螺栓的初始紧固力 (kN)

螺栓的承载性能等级	螺栓公称直径 (mm)					
	M16	M20	M22	M24	M27	M30
8.8 级	80	125	150	175	230	280
10.9 级	100	155	190	225	290	355

【条文说明】表 5.3.3 中一个高强度螺栓的初始紧固力值是依据《钢结构设计标准》GB 50017 规定的高强螺栓预拉力设计值给出的。

5.3.4 索夹抗滑承载力应按 5.3.6 通过试验确定,可按 5.3.5 进行索夹抗滑承载力初步设计计算。

【条文说明】索夹抗滑承载力与高强螺栓的有效紧固力、索体与孔道接触面的摩擦系数及压应力分布均匀性直接相关,而这些直接因素受到了高强螺栓的初始紧固力及其应力松弛、索力增量(指索夹安装在索体上后,由于拉索张拉和荷载增加导致的索力增加值)、索夹刚度、孔道与索体间隙及其加工精度、索体外表材料、索孔道内表面处理及其弯曲半径等众多间接因素影响。这些间接因素体现在索夹的构造设计、加工制作、安装以及拉索张拉力和使用阶段索力变化之中。

以往工程试验表明,索夹抗滑承载力存在较大的变化范围,因此在初步设计时,可按 5.3.5 条进行索夹抗滑承载力计算,最终对索夹实物通过试验确定索夹抗滑承载力,且该试验也可考察索夹的加工制作质量,试验应按 5.3.6 条的规定进行。

5.3.5 索夹抗滑设计承载力应不低于索夹两侧不平衡索力设计值,应满足式 5.3.5-1 的要求:

$$R_{fc} \geq F_{nb} \quad (5.3.5-1)$$

$$R_{fc} = \frac{2\bar{\mu}P_{tot}^e}{\gamma_M} \quad (5.3.5-2)$$

$$P_{tot}^e = (1 - \phi_B)P_{tot}^0 \quad (5.3.5-3)$$

式中: R_{fc} ——索夹抗滑设计承载力 (N);

F_{nb} ——索夹两侧不平衡索力设计值 (N),应不小于最不利工况下索夹两侧索力最大差值;

γ_M ——索夹抗滑设计承载力安全系数,宜取 1.65;

$\bar{\mu}$ ——索夹与索体间的综合摩擦系数,对于外包 HDPE 的钢丝束索、钢丝外裸的密封索和钢绞线索,宜分别取 0.1、0.2 和 0.3;

P_{tot}^e ——索夹上所有高强螺栓的有效紧固力之和 (N);

ϕ_B ——高强螺栓紧固力损失系数,宜取 0.25~0.55。

【条文说明】高强螺栓提供的紧固力产生在索夹的主体和压板上,索夹与索体存在两个接触面,因此式 5.3.5-2 中索夹抗滑设计承载力考虑了 2 个摩擦面共同工作的结果。

索夹抗滑设计承载力安全系数 γ_M 建议值参考了《Eurocode 3 Design of steel structures》EN 1993-1-11 中 6.4.1 条的规定。

索夹与索体间的综合摩擦系数 $\bar{\mu}$ 是综合了索体和索夹之间摩擦系数 μ 以及压应力分布均匀性的结果，其中摩擦系数 μ 受索体和孔道接触面材料和粗糙度等因素的影响，而压应力分布均匀性受索夹刚度、孔道与索体之间间隙及加工精度等因素影响。因此，式 5.3.5-2 直接采用综合摩擦系数 $\bar{\mu}$ 进行计算。根据工程经验，索夹与索体间的综合摩擦系数 $\bar{\mu}$ ，对于外包 HDPE 的钢丝束索、密封索和钢绞线裸索， $\bar{\mu}$ 建议值分别取 0.1、0.2 和 0.3。由于影响因素众多，多项工程试验中 $\bar{\mu}$ 变异较大，因此通过索夹抗滑承载力试验来测定为宜。

高强螺栓预紧后，由于高强螺栓自身应力松弛、索体蠕变和后续索力增加导致高强螺栓紧固力显著降低，因此式 5.3.5-3 采用高强螺栓有效紧固力进行计算。多项工程试验表明，高强螺栓紧固力损失系数 ϕ_B 大致范围为 0.25~0.55，变异较大，因此通过索夹抗滑承载力试验来测定为宜。

5.3.6 索夹抗滑承载力试验应符合以下规定：

1 索夹和索体材料、索孔道和索体表面处理、索夹制作加工和关键构造尺寸，应与实际工程一致。

2 同类型、同规格的索夹，试验数量宜不少于 2 个。

3 当多个索夹在同一根索体上进行抗滑试验时，各索夹夹持段的净距应不小于 3 倍索体直径。

4 安装索夹和预紧高强螺栓、张拉拉索、顶推加载的试验流程，应与实际工程一致。

5 应充分考虑索体受拉引起的高强螺栓紧固力损失及其时间效应，待高强螺栓紧固力衰减稳定后加载顶推索夹。

6 试验过程中宜跟踪监测高强螺栓的紧固力，加载顶推索夹时应同步监测顶推力和索夹相对索体的滑移量。

7 顶推索夹的加载位置应符合结构中索夹实际受力情况。

8 索夹抗滑极限承载力应通过顶推过程的荷载-位移曲线确定。当索夹的主体和压板的滑移量都迅速增加，且顶推力难以继续增加时，对应的顶推力确定为索夹抗滑极限承载力。

9 在正常试验条件下，索夹抗滑承载力试验代表值宜取同批次的索夹抗滑极限承载力最小值。

10 索夹抗滑承载力试验代表值应不低于抗滑设计承载力的 1.5 倍。

【条文说明】在预紧高强螺栓后张拉拉索会引起索体直径变小，这是导致高强螺栓紧固力衰减的主要因素之一。实际工程中，既有可能先预紧索夹的高强螺栓再张拉拉索（此时试验中的拉索预张力为0），然后张拉达到使用工况下的设计索力；也有可能先在拉索张拉后预紧索夹的高强螺栓（此时试验中的拉索预张力为施工方案中的拉索张拉力），再次张拉至设计索力。所以本条强调安装索夹和预紧高强螺栓、张拉拉索、顶推加载的试验流程，应与实际工程一致。到达设计索力后，再加载顶推索夹直至沿索体明显滑动。

5.4 耳板销接节点承载力验算

5.4.1 耳板销接节点应分别进行耳板和销轴的承载力验算。

5.4.2 耳板应进行耳板孔净截面处的抗拉强度（截面I-I）、耳板端部截面的抗劈拉强度（截面II-II）、抗剪强度（截面III-III）、耳板根部的抗拉强度（截面IV-IV）和销孔的局部承压强度验算，各截面位置如图 5.4.2 所示。对于焊接在主板上的贴板，应验算贴板焊缝承载力。

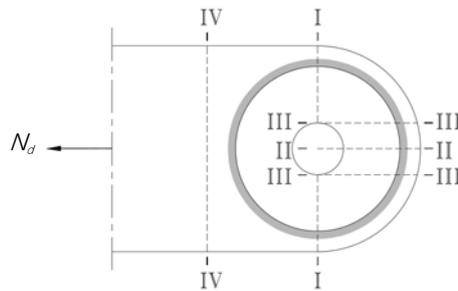


图 5.4.2 耳板承载力验算截面位置

5.4.3 耳板承载力验算应按图 5.4.3 和下列公式进行：

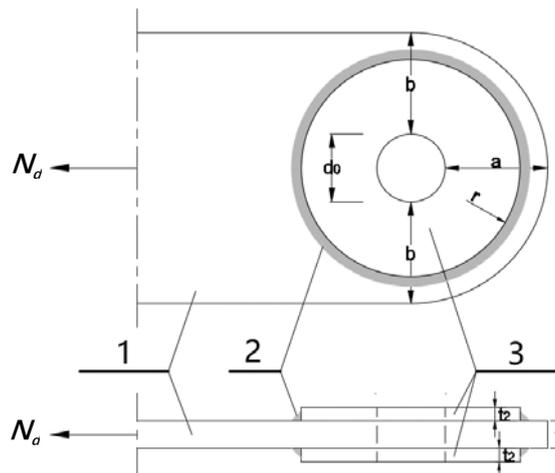


图 5.4.3 耳板尺寸参数

1-耳板主板；2-焊缝；3-耳板贴板

1 无贴板的耳板孔净截面处抗拉强度应按式（5.4.3-1）进行验算：

$$\sigma = \frac{N_d}{2t_1b_1} \leq f \quad (5.4.3-1)$$

2 有贴板的耳板孔净截面处抗拉强度应按式 (5.4.3-2) 进行验算:

$$\sigma = \frac{N_d}{2t_1b_1+4t_2b_2} \leq f \quad (5.4.3-2)$$

$$b_1 = \min(2t_1 + 16, b - \frac{d_0}{3}) \quad (5.4.3-3)$$

$$b_2 = \min(2t_2 + 16, r - \frac{5d_0}{6}) \quad (5.4.3-4)$$

3 无贴板的耳板端部抗劈拉强度应按式 (5.4.3-5) 进行验算:

$$\sigma = \frac{N_d}{2t_1(a - \frac{2d_0}{3})} \leq f \quad (5.4.3-5)$$

4 有贴板的耳板端部抗劈拉强度应按式 (5.4.3-6) 进行验算:

$$\sigma = \frac{N_d}{2t_1(a - \frac{2d_0}{3}) + 4t_2(r - \frac{7d_0}{6})} \leq f \quad (5.4.3-6)$$

5 无贴板的耳板端部抗剪强度应按式 (5.4.3-7) 进行验算:

$$\tau = \frac{N_d}{2t_1Z} \leq f_v \quad (5.4.3-7)$$

$$Z = \sqrt{(a + \frac{d_0}{2})^2 - (\frac{d_0}{2})^2} \quad (5.4.3-8)$$

6 有贴板的耳板端部抗剪强度应按式 (5.4.3-9) 进行验算:

$$\tau = \frac{N_d}{2t_1Z + 4t_2Z'} \leq f_v \quad (5.4.3-9)$$

$$Z' = \sqrt{r^2 - (\frac{d_0}{2})^2} \quad (5.4.3-10)$$

7 耳板根部全截面抗拉强度应按式 (5.4.3-11) 进行验算:

$$\sigma = \frac{N_d}{t_1(2b+d_0)} \leq f \quad (5.4.3-11)$$

8 无贴板的耳板销孔的局部承压强度应按式 (5.4.3-12) 进行验算:

$$\sigma_c = \frac{N_d}{dt_1} \leq f_c \quad (5.4.3-12)$$

9 有贴板的耳板销孔的局部承压强度应按式 (5.4.3-13) 进行验算:

$$\sigma_c = \frac{N_d}{d(t_1+2t_2)} \leq f_c \quad (5.4.3-13)$$

10 贴板焊接在主板上时, 焊缝抗剪承载力应不低于贴板抗拉承载力。角焊缝高度应按式 (5.4.3-14) 进行计算:

$$h_f \geq \frac{f(2r-d_0)t_2}{0.7r\pi f_f^w} \quad (5.4.3-14)$$

式中： N_d ——耳板轴向拉力设计值（N），宜取拉索内力设计值的 1.25~1.5 倍；

a ——顺受力方向，销轴孔边距主板边缘最小距离（mm）；

b ——销轴孔边距主板两侧边缘最小距离（mm）；

d ——销轴直径（mm）；

r ——贴板半径（mm）；

d_0 ——销孔直径（mm）；

t_1 ——耳板主板厚度（mm）；

t_2 ——耳板单侧贴板厚度（mm）；

b_1 ——耳板主板计算宽度（mm）；

b_2 ——耳板贴板计算宽度（mm）；

Z ——耳板端部抗剪截面宽度（mm）；

f ——耳板钢材抗拉、抗弯强度设计值（N/mm²）；

f_v ——耳板钢材抗剪强度设计值（N/mm²）；

f_c ——耳板钢材承压强度设计值（N/mm²）；

f_f^w ——角焊缝强度设计值（N/mm²）。

【条文说明】本条的验算公式是根据《钢结构设计标准》（GB 50017）相关条文并考虑两侧贴板的作用推导给出的。对于一旦节点破坏会引起相连构件的连续性失效，导致结构局部甚至整体出现承载力问题的耳板销接节点，其设计承载力应不小于拉索的设计承载力，因此本条规定宜取拉索内力设计值的 1.25~1.5 倍，且耳板的极限承载力宜不小于钢丝索的标称破断力或钢棒的屈服载荷。

5.4.4 对于形式特殊或受力特别复杂的耳板式节点，应进行弹塑性有限元分析，必要时应补充节点模型试验，确定其设计承载力。

5.4.5 销轴承载力验算应按图 5.4.5 和下列公式进行：

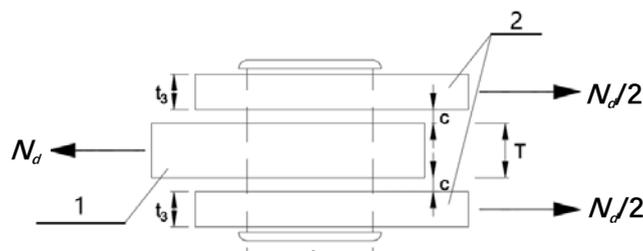


图 5.4.5 销轴承载力计算简图

1-结构耳板；2-叉耳

1 销轴抗剪承载力应按式 (5.4.5-1) 进行验算:

$$\tau_{pn} = \frac{4N_d}{n_v \pi d^2} \leq f_v^{pn} \quad (5.4.5-1)$$

2 销轴抗弯强度应按式 (5.4.5-2) 进行验算:

$$\sigma_{pn} = \frac{64M}{3\pi d^3} \leq f^{pn} \quad (5.4.5-2)$$

$$M = \frac{N_d}{8} (T + 2t_3 + 4c) \quad (5.4.4-3)$$

3 计算截面同时受弯受剪时组合强度应按式 (5.4.5-4) 进行验算:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{pn}}{f^{pn}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{pn}}{f_v^{pn}}\right)^2} \quad (5.4.5-4)$$

式中: M ——销轴计算截面弯矩设计值 (N·mm);

T ——耳板总厚度, 当有贴板时, 取主板和贴板厚度之和 (mm);

d ——销轴直径 (mm);

t_3 ——与耳板相连的叉耳单耳板厚度 (mm);

c ——叉耳与耳板之间的单侧间隙 (mm);

n_v ——受剪面数目;

f_v^{pn} ——销轴的抗剪强度设计值 (N/mm²);

f^{pn} ——销轴的抗弯强度设计值 (N/mm²)。

5.5 可滑动节点承载力验算

5.5.1 对于设置索槽的可滑动节点, 索槽及其支承构件应按照现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 的规定进行下列承载力验算:

- 1 最大索力竖向分量作用下索槽底板的承压承载力;
- 2 最大索力水平分量作用下索槽侧板的挤压承载力和抗剪承载力;
- 3 最不利荷载组合作用下索槽支承构件承载力;
- 4 采用摩擦系数低的材料作为垫层时, 应验算垫层的抗压承载力。

5.5.2 对设置连接板固定滚动轴的可滑动节点应进行下列承载力验算:

- 1 连接板宜按本标准第 5.4.3 条进行承载力验算;
- 2 滚动轴宜按本标准第 5.4.5 条进行承载力验算。

【条文说明】目前工程上使用的带有滚动轴的可滑动节点, 其构造与受力类似于耳板销接节点, 连接板受力相当于耳板, 滚动轴受力相当于销轴。因此建议按照本标准第 5.4 节的规定进行承载力验算。

6 构造与连接

6.1 一般规定

6.1.1 节点构造应与计算假定相符，传力应简捷、明确、可靠，应避免产生应力集中。

6.1.2 对于拉索张拉端节点，应考虑预应力施加方式、使用过程中调整索力以及根据设计需要换索的可能性；应保证节点张拉区有足够的施工操作空间，满足张拉工装临时固定的需要。

6.1.3 对于拉索转折处节点，宜设置索槽以保证拉索平滑转弯，索槽内可涂润滑剂或采用摩擦系数低的材料作为垫层。

6.1.4 对于施工或使用中可能发生拉索转角变位的节点，应采用能够适应转动需求的节点构造形式。

6.1.5 对于施工阶段允许拉索在节点处滑动而使用阶段不允许滑动的节点，应采用既能减小摩擦力保证拉索顺利滑动，又能锁住拉索满足使用阶段要求的构造措施。

【条文说明】工程中，施工阶段允许拉索在节点处滑动而使用阶段不允许滑动的节点多采用可滑动节点与索夹节点组合的形式构成，可整体采用铸钢件制作。

6.1.6 节点构造应便于制作、连接安装和维护，防止积水、积尘，具有较好的经济性。

6.1.7 节点的表面质量及偏差应符合现行国家标准《钢结构施工质量验收规范》GB5025 的相关规定，表面涂装要求应不低于主体钢构件。

6.2 螺杆连接节点构造与安装

6.2.1 设有端头螺母通过承压传递索力时，应加装防松装置，防止螺母松动。

【条文说明】因结构长期在风等荷载作用下会产生振动，可能造成端头螺母松动，从而带来安全隐患。可采用双螺母、螺母加弹簧垫片、螺母下设置止动垫圈、采用自锁螺母等方式防止螺母松动。

6.2.2 拉索转角变位较大的节点，应在螺杆连接端头增设球铰等可转动装置，避免产生端部弯矩。

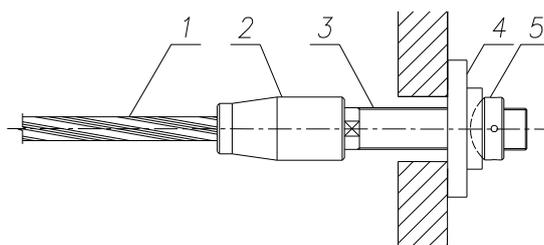


图 6.2.2 螺杆连接端头球铰

1—索体；2—索头；3—螺杆；4—承压板；5—球铰

【条文说明】因螺杆连接端头具有一定的刚度，拉索转角变位较大时，端头部位将产生一定的附加弯矩，对节点受力极为不利。为此，应在连接节点端头增加球铰等转动装置，释放端部弯矩，使节点构造与计算假定一致。

6.2.3 螺纹尺寸及允许偏差应符合下列规定：

1 普通螺纹符合现行国家标准《普通螺纹 基本尺寸》GB/T 196、《普通螺纹 公差》GB/T 197、《普通螺纹 基本牙型》GB/T192、《普通螺纹 直径与螺距系列》GB/T193 的规定。

2 梯形螺纹应符合现行国家标准《梯形螺纹 第 1 部分 牙型》GBT5796.1、《梯形螺纹 第 2 部分：直径与螺距系列》GBT5796.2、《梯形螺纹 第 3 部分 基本尺寸》GBT5796.3、《梯形螺纹 第 4 部分：公差》GBT5796.2 的规定。

6.2.4 螺母应紧固牢靠，外露丝扣不应少于两扣；索与索螺杆套筒连接应确保螺杆拧入套筒内的螺纹长度不小于螺杆公称直径的 1.0 倍。

【条文说明】在索-索螺杆套筒连接中，因螺杆拧入套筒的长度不可见，是检查的重点，应确保拧入套筒的螺纹长度不小于 1 倍的螺杆公称直径。

6.2.5 钢支承构件通过螺母承压传递索力时，螺母下承压钢板厚度宜不小于 20mm。

【条文说明】承压板的厚度一般通过计算确定，为防止局压变形过大，承压面应具有一定的刚度，厚度不宜过小。承压板表面应平整，确保压力的均匀传递。

6.2.6 混凝土支承构件通过螺母承压传递索力时，其局部承压面面积、局部承压区钢筋配置应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的相关规定。

6.2.7 固定与混凝土支承结构相连接的锚杆螺杆时，锚杆位置偏差应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 地脚螺栓位置允许偏差的规定。

6.3 索夹节点构造与安装

6.3.1 索夹主体和压板上的高强螺栓孔径应比螺栓公称直径大 1.5~2mm。主体和压板应配对制孔，且配对标记。

6.3.2 索夹主体和压板之间应留有足够的间隙，保证高强螺栓预紧且索夹变形后主体和压板之间无接触。

【条文说明】要求索夹主体和压板之间留有足够的间隙且高强螺栓预紧后主体和压板之间无接触，是为了保证高强螺栓的紧固力全部有效的作用在索体上。

6.3.3 索孔道允许偏差应符合表 6.3.3 的规定。

表 6.3.3 索孔道允许偏差

项 目	允许偏差
孔直径	0~2mm
孔中心与索夹节点中心间距	±1mm
孔道中心圆弧两端切线夹角	±15'
索孔道表面粗糙度	≤50μm
索夹孔道倒圆角	≥10mm

6.3.4 对钢丝外露的裸索，应在索夹孔道与索体接触面热喷锌，厚度宜≥0.6mm 且≤1mm，孔道表面应严禁油漆涂装、油污等。

【条文说明】热喷锌层的硬度较钢材低，有利于防止索夹损伤索体表面钢丝的镀层，且防止电化学腐蚀。油漆涂装和油污等会严重降低索体和索夹之间的摩擦系数，进而降低索夹抗滑承载力。

6.3.5 索夹节点连接安装应符合下列规定：

1 索夹在安装前应涂装完成，预紧高强螺栓后可局部补涂。

2 在索体展开且无扭转的情况下，严格按照索体表面标记安装索夹，且应严格按照配对制孔的主体和压板配对组装。索夹在索体上的安装位置允许偏差±2mm。

3 当夹持单根索体时，索夹安装位置允许偏差±2mm；当夹持 2 根及以上索体时，索夹安装位置允许偏差±5mm。

4 高强螺栓的拧紧力矩应根据生产厂家提供或者试验的扭力系数确定。高强螺栓预紧时可超拧紧，超拧力矩宜不大于拧紧力矩的 15%。

5 高强螺栓可采用扭力扳手或千斤顶施加紧固力，应对扭力扳手或千斤顶进行标定。当采用扭力扳手对高强螺栓施加紧固力时，应试验测定高强螺栓的扭力系数。

6 高强螺栓拧紧后应除油处理，并进行防腐涂装。

7 索夹在生产出厂后，在运输、存放以及安装过程中应注意成品保护。

【条文说明】扭力系数试验时，螺牙受力情况应与实际一致。沉孔高强螺栓的螺牙受力情况较为复杂，扭力系数远大于一般高强螺栓副，应在实物上进行试验。对扭力系数大的大直径高强螺栓宜采用千斤顶施加紧固力，且应对千斤顶进行标定，此时无需测定扭力系数。

6.4 耳板销接节点构造与制作安装

6.4.1 顺受力方向，销轴孔边距耳板主板边缘距离 a 应符合下列公式规定。

$$a \geq 4b_e / 3 \quad (6.4.1-1)$$

$$b_e = \min\{2t_1 + 16, b\} \quad (6.4.1-2)$$

【条文说明】由于销轴承压会导致劈拉受力的路径缩短，且劈拉破坏是脆性破坏。对于耳板板端被剪切和劈拉这两种破坏形态，美欧规范都认为只要取充分的板端距离 a ，这两种破坏状态就可以避免，故借鉴美国规范 ANSI/AISC 360-10 给出 a 的最短距离规定。

6.4.2 耳板厚度应不小于耳板销轴孔每侧净宽 1/4，且不宜小于 20mm。

【条文说明】研究表明，过薄的耳板不仅不利于销轴抗弯，而且会减弱耳板承压应力在板厚方向的重分布，这对耳板抗压能力也极为不利；同时销轴节点应力十分复杂，耳板厚影响着销轴抗弯和自身的承压承载能力，故有必要对耳板的最小板厚进行控制。本条规定耳板厚度不得小于耳板销轴孔每侧净宽 1/4，与现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 和英国规范 BS5950-1: 2000 的规定相同。

6.4.3 耳板两侧贴板厚度宜相等，单侧厚度不宜超过主板厚度的 1/2。

6.4.4 对于矩形有切角的耳板，切角可与构件轴线成 45°角，且销轴孔边到切角边的净距应不小于销轴孔边距主板边缘距离（图 6.4.4）。

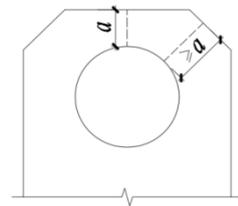


图 6.4.4 销轴孔边距切角边净距要求

6.4.5 索头叉耳与结构耳板之间的双侧总间隙宜符合表 6.4.5 的规定。

表 6.4.5 索头叉耳与结构耳板之间间隙允许值

结构耳板厚度 t/mm	双侧总间隙 $2c/\text{mm}$
$t \leq 25$	$2 \leq 2c$
$25 < t \leq 50$	$3 \leq 2c$
$50 < t \leq 100$	$6 \leq 2c$
$100 < t \leq 150$	$8 \leq 2c$
$150 < t$	$10 \leq 2c$

6.4.6 销轴与销轴孔之间间隙宜符合表 6.4.6 的规定。

表 6.4.6 销轴与销轴孔之间间隙允许值

销轴直径 d/mm	直径间隙 g/mm
$d \leq 50$	$1 \leq g \leq 1.5$
$50 < d \leq 100$	$1.5 < g \leq 2$
$100 < d \leq 250$	$2 < g \leq 4$
$250 < d$	$4 < g \leq 6$

【条文说明】销轴与销孔的间隙大小对构件受力影响较大，过大的间隙不仅减小两者的接触面积，进而增大接触压应力；而且容易造成连接的松动，增大连接件的二次应力。另外，考虑到构件生产误差和便于现场安装，综合考虑后作出 6.4.6 的规定。

6.4.7 销轴精加工部分的长度，应大于被连接的构件两外侧面间的距离 6mm 以上，且两端应有防止销轴横向滑脱的盖板或螺母。

6.4.8 耳板销接节点制作应符合以下要求：

- 1 各构件安装时不应偏心，且构件尺寸应满足索力由销孔中心向边缘扩散要求；
- 2 耳板销轴孔应采用机加工钻孔，且主板和贴板应整体钻孔；
- 3 当销轴和销轴表面要求机加工时，其质量要求应符合相应的机械零件加工标准的规定。

当销轴直径大于 120mm 时，宜采用锻造加工工艺制作。

4 对销轴进行超声波探伤应符合现行国家标准《锻轧钢棒超声波检验方法》GB/T 4162 的 B 级合格；进行磁粉探伤应符合现行行业标准《重型机械通用技术条件 锻钢件无损探伤》JB/T 5000.15 的 2 级合格。

5 耳板和销轴的制作应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 中 C 级螺栓孔的规定，其允许偏差应符合表 6.4.8 的规定。

表 6.4.8 耳板和销轴制作允许偏差

构件	项目	允许偏差
耳板	耳板的宽度、长度	$\pm 1mm$
	加工边直线度	$l/3000$ ，且不应大于 $\pm 1.5mm$
	板厚	$\pm 0.5mm$
	耳板的平面度	$\pm 0.05t$ ，且不应大于 $\pm 1.5mm$
	加工面垂直度	$0.025t$ ，且不应大于 $0.5mm$
	相邻两边夹角	$\pm 6'$
	销孔直径	$+1.0 \sim 0.0mm$
	销孔圆度	$2.0mm$
	销孔垂直度	$0.03t$ ，且不应大于 $2.0mm$
	销轴孔壁表面粗糙度 Ra	$25\mu m$
销轴	销轴直径	$0.00 \sim -0.25mm$

注：表中 l 为板边长度， t 为板厚度。

6.4.9 耳板式节点安装精度应符合以下规定：

1 耳板销孔中心至结构节点中心的连线与拉索轴线偏角的允许偏差不应大于 $\pm 0.5^\circ$ ，且销孔中心与轴线的垂直距离允许偏差不应大于 $\pm 10\text{mm}$ 。

2 当拉索长度可调时，耳板销孔中心至结构节点中心距离的允许偏差不应大于 $\pm 5\text{mm}$ ，拉索两端耳板中心距离的允许偏差不应大于 $\pm 30\text{mm}$ ；

【条文说明】当拉索长度不可调时，应根据拉索系统长度允许偏差，在保证索力达到允许偏差的前提下，采用误差影响分析来确定合理的耳板销孔中心位置允许偏差，必要时可提高拉索系统长度的精度要求，或采取措施调节耳板连接件长度。

3 采用双耳板时，应保证双耳板的同轴度偏差小于 0.5mm 。

6.5 可滑动节点构造

6.5.1 可滑动节点构造应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 的有关规定，节点的构造设计应确保拉索滑动过程中索体与节点间的摩擦力最小。

6.5.2 对于设置索槽的可滑动节点，索槽圆弧半径不宜小于拉索直径的 $12\sim 20$ 倍。索槽尺寸应能确保拉索滑动时不易脱槽，也可设置构造措施予以保证。

【条文说明】对于设置索槽的可滑动节点，节点的几何设计应确保索体光滑通过节点，避免在节点内部对索体形成过大的折点。为了减少主索钢丝的二次应力，现行行业标准《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65-05 规定，用于桥梁主缆的索槽圆弧半径不宜小于主缆直径的 $8\sim 12$ 倍，根据建筑索结构常用的拉索的特点，本条建议用于可滑动节点的索槽圆弧半径不宜小于拉索直径的 $12\sim 20$ 倍。

6.5.3 索槽、索鞍的加工质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 零件及钢部件加工质量的规定。

6.5.4 对设置连接板固定滚动轴的可滑动节点，连接板与滚动轴的构造与连接要求应分别符合本标准 6.4 节对耳板和销轴的要求。

附录 A 常用建筑索结构形式

A.0.1 悬挂索结构可由平行或辐射布置的悬挂拉索组成，常用形式如图 A.0.1。

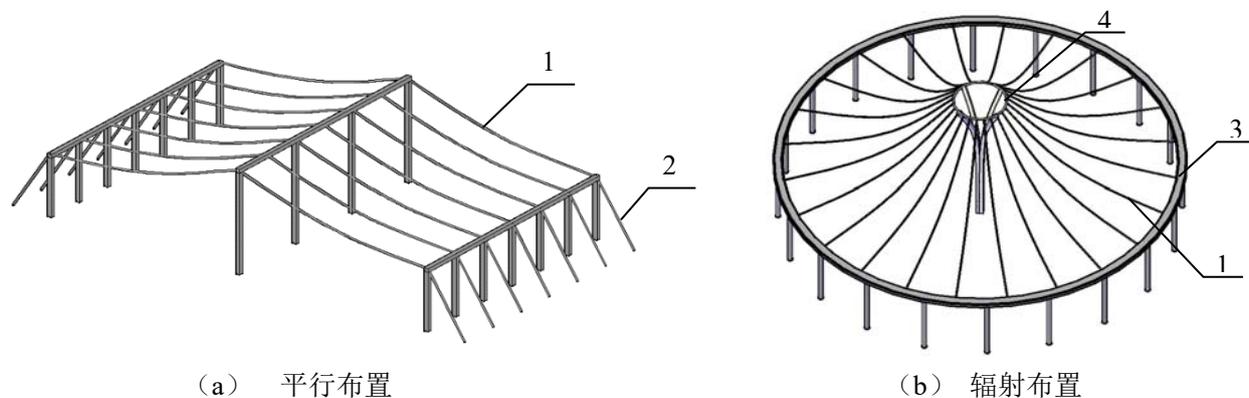


图 A.0.1 悬挂索结构

1-承重索；2-背锚索；3-受压外环梁；4-受拉环

A.0.2 横向加劲索结构可利用横向构件（梁、桁架等）对悬挂索结构施加强迫位移以在整体结构中建立预应力，常用形式如图 A.0.2。

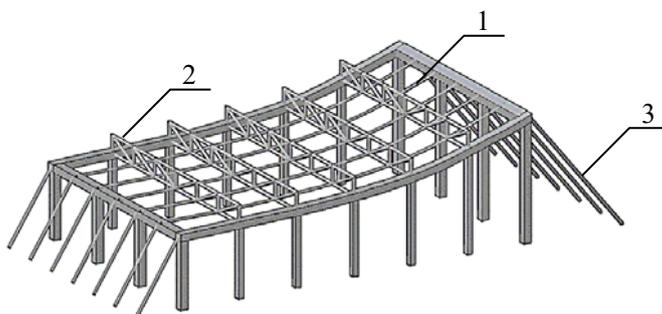


图 A.0.2 横向加劲索结构

1-承重索；2-横向构件；3-背锚索

A.0.3 索网结构可由相互正交、曲率相反的两组索在交点处相互连接而形成。常用的鞍形曲面索网结构形式如图 A.0.3(a)。当两组索的曲率均为零时，可形成用作幕墙支承结构的平面索网（图 A.0.3(b)）。

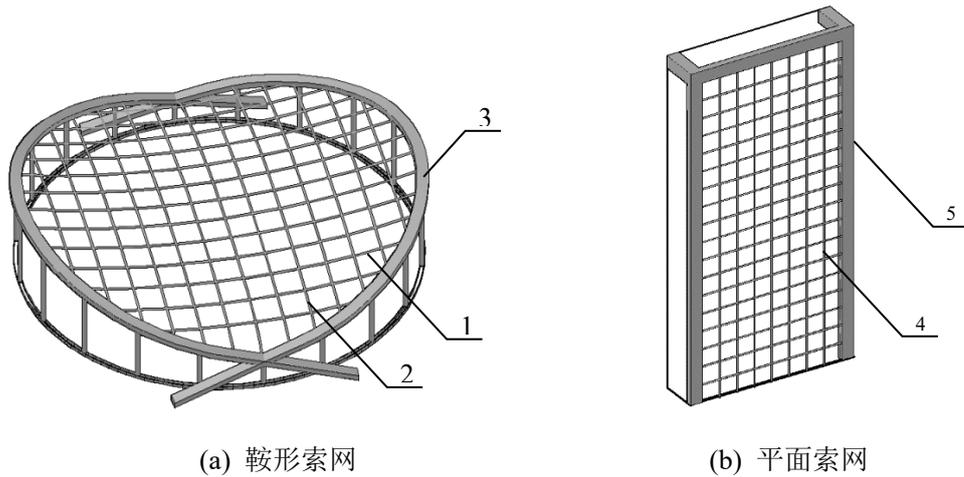


图 A.0.3 索网结构

1-承重索；2-稳定索；3-受压外环梁；4-拉索；5-外框架

A.0.4 双层索结构(索桁架)可由一系列下凹的承重索和上凸的稳定索以及连接二者的连杆(拉索或撑杆)组成。可采用平行、交错和辐射布置等形式(图 A.0.4)。

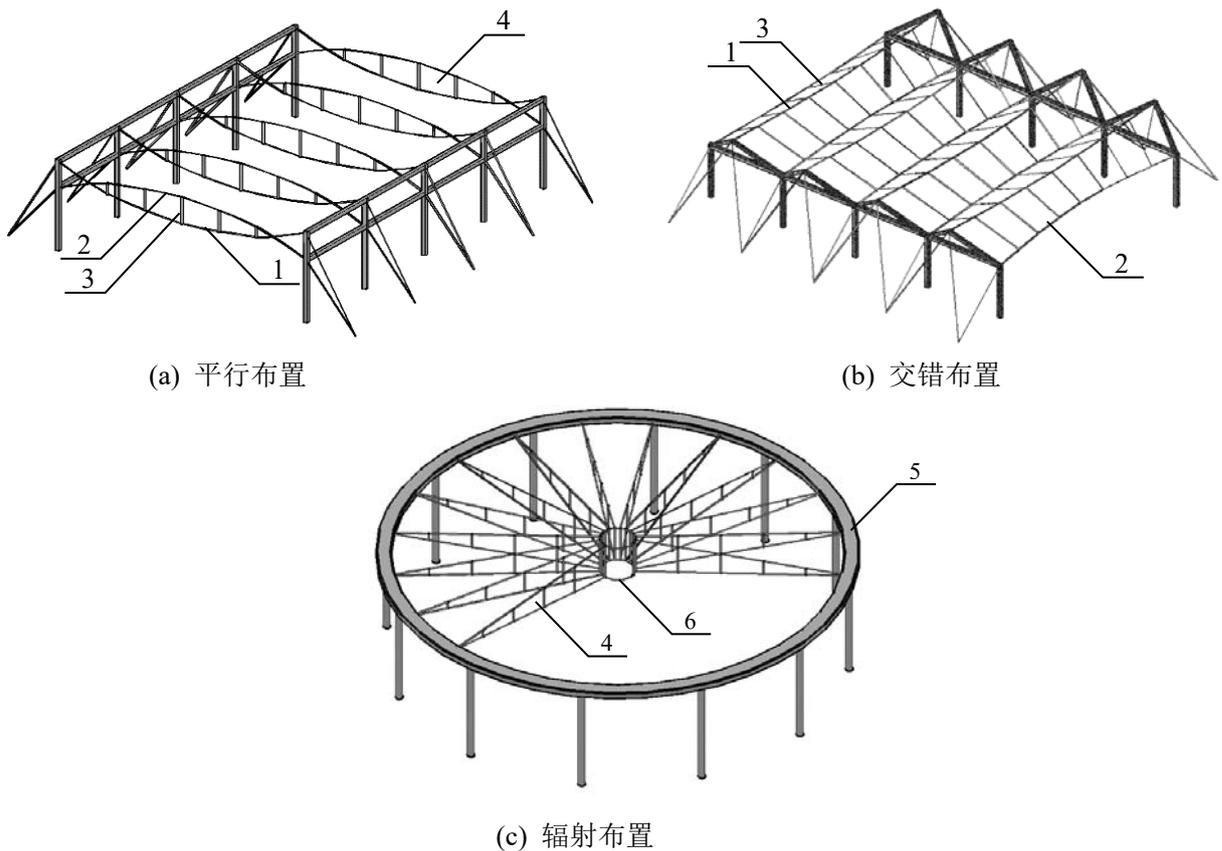


图 A.0.4 双层索结构

1-承重索；2-稳定索；3-连杆；4-索桁架；5-受压外环梁；6-受拉环

A.0.5 环形索桁结构可将辐射布置双层索结构的中部受拉环扩大并替换为内环索而形成(图 A.0.5)。

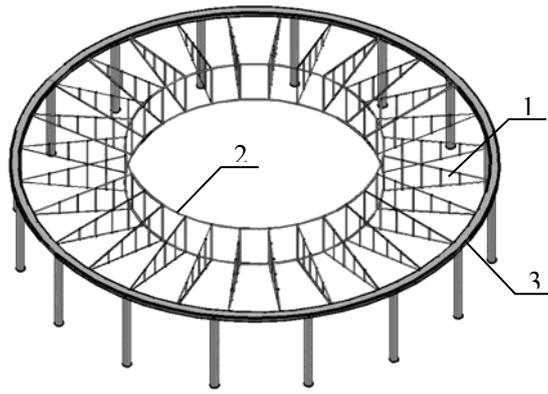


图 A.0.5 环形索桁结构

1—索桁架；2—内环索；3—受压外环梁

A.0.6 斜拉屋盖结构可利用固定在塔柱或桅杆上的斜拉索为屋盖结构提供跨中吊点(图 A.0.6)。

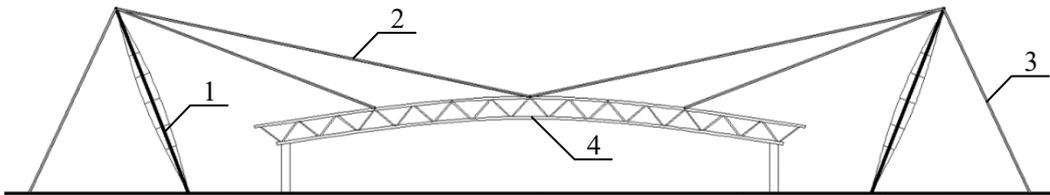
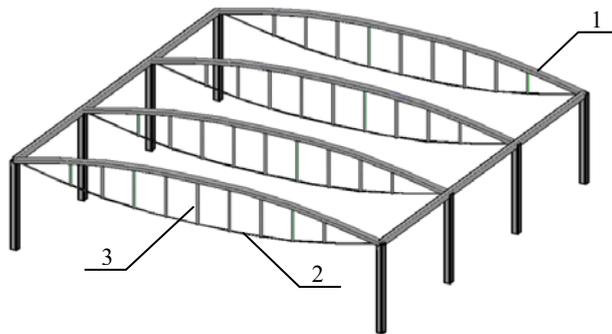


图 A.0.6 斜拉屋盖结构

1-桅杆（或塔柱）；2-斜拉索；3-背锚索；4-屋盖结构

A.0.7 张弦梁结构可由上弦刚性构件（实腹梁、立体桁架等）、下弦拉索以及连接二者的撑杆组成，可采用单向、双向和辐射布置等形式（图 A.0.7）。



(a) 单向布置

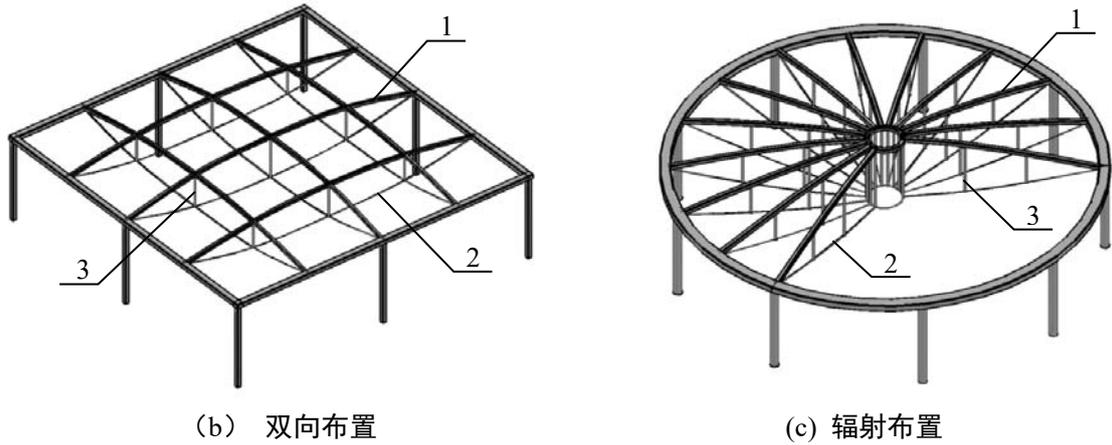


图 A.0.7 张弦梁结构

1-上弦刚性构件；2-拉索；3-撑杆

A.0.8 弦支穹顶可由上部单层网壳结构和下部逐圈布置的环索、斜索和撑杆组成（图 A.0.8）。

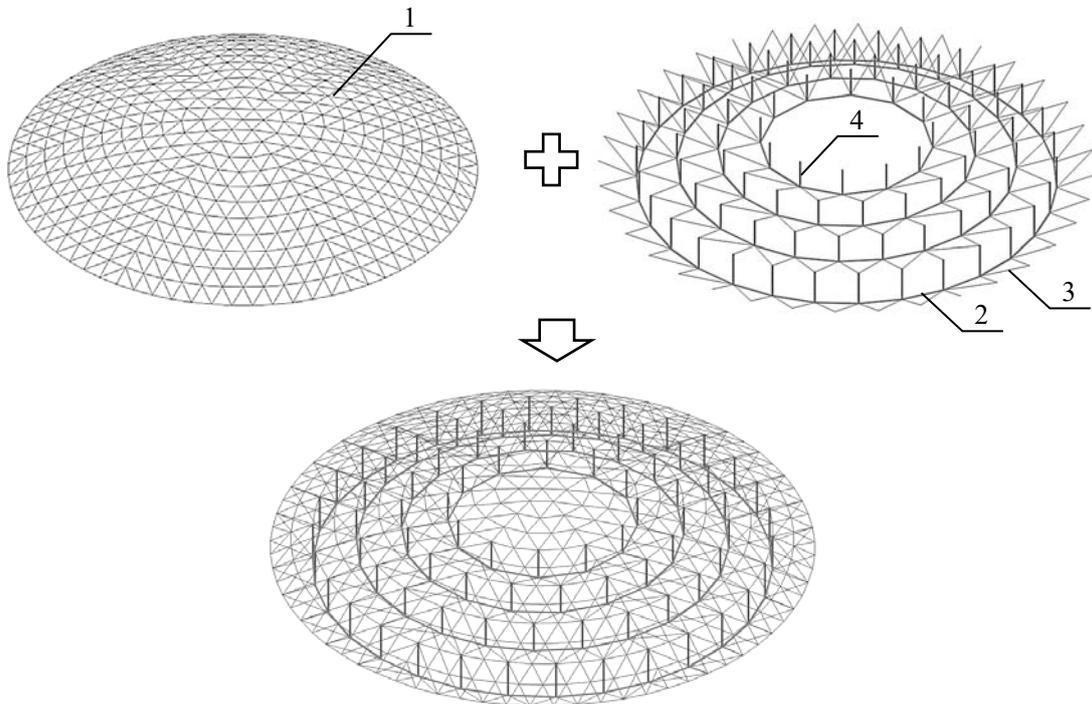


图 A.0.8 弦支穹顶

1-单层网壳；2-环索；3-斜索；4-撑杆

A.0.9 索穹顶可由受压外环梁（或环桁架）与逐圈布置的脊索、斜索、环索及撑杆组成，可采用肋环型、联方型等形式（图 A.0.9）。

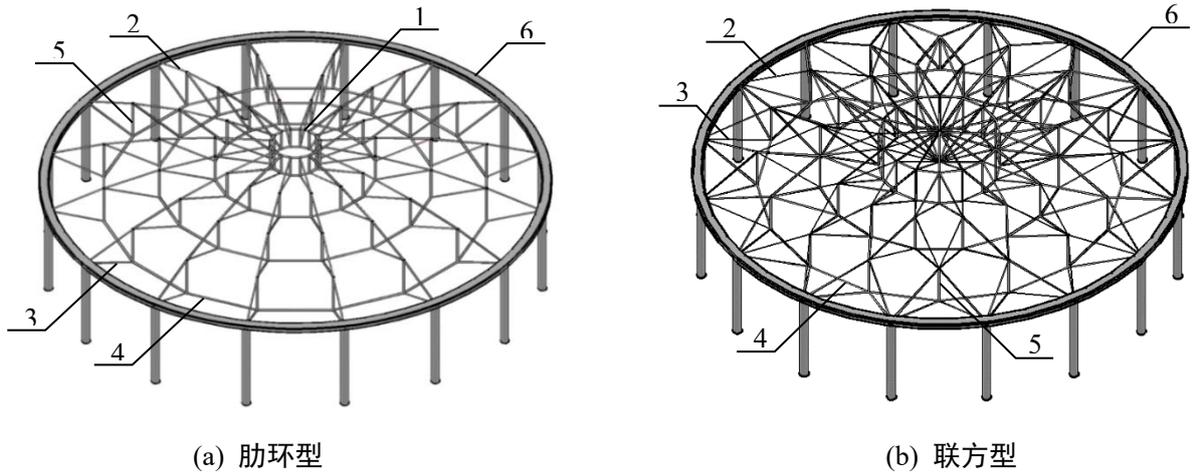


图 A.0.9 索穹顶

1-受拉环；2-脊索；3-斜索；4-环索；5-撑杆；6-受压外环梁

A.0.10 预应力网格结构可在网格结构（立体拱架、网架和网壳）中设置拉索，并通过张拉拉索引入预应力（图 A.0.10）。

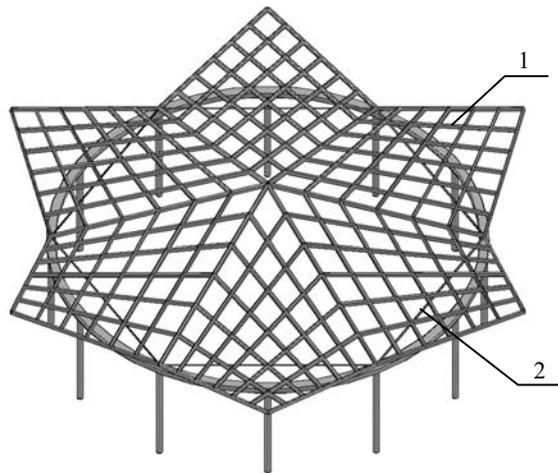
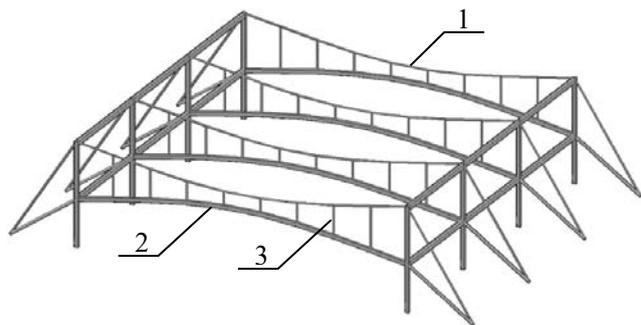


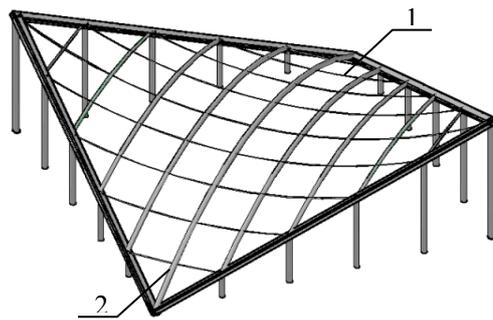
图 A.0.10 预应力网格结构

1-网格结构；2-拉索

A.0.11 索拱结构可由实腹式或格构式拱替换双层索结构或鞍形索网中上凸的稳定索，再通过张拉承重索或对拱的两端下压产生强迫位移而施加预应力，索与拱可采用共面布置或正交布置（图 A.0.11）。



(a) 共面布置



(b) 正交布置

图 A.0.11 索拱结构

1-承重索；2-拱；3-连杆

A.0.12 索托结构可在斜拉屋盖结构的基础上将锚固于不同塔柱的两根斜拉索替换为一根连续索而形成（图 A.0.12）。

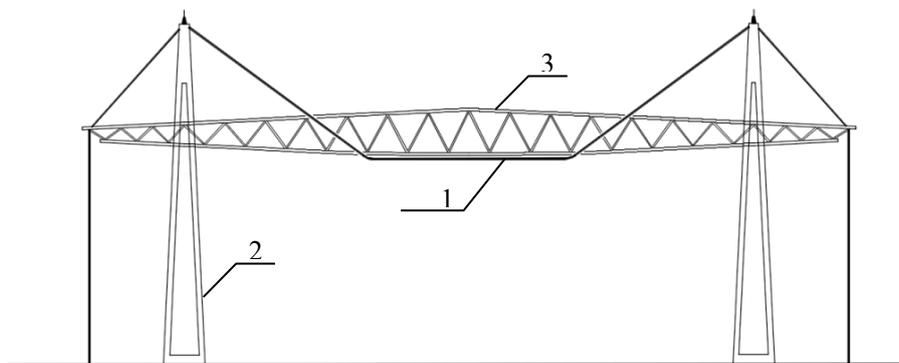


图 A.0.12 索托结构

1- 连续斜拉索；2-塔柱；3-屋盖结构

附录 B 常用拉索锚具类型

B.0.1 热铸锚具可采用下列形式（图 B.0.1-1、2、3、4）：

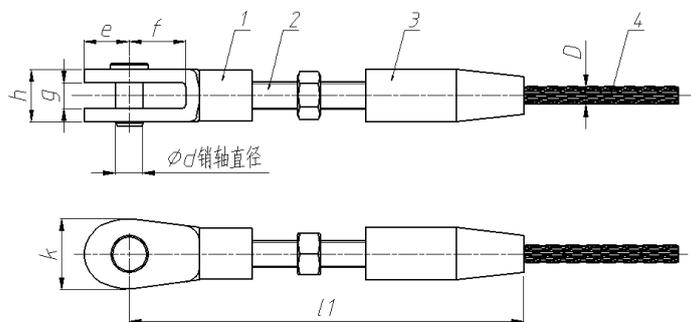


图 B.0.1-1 热铸双耳调节式锚具

1—双叉耳；2—调节螺杆；3—锚具；4—索体

参数	常用范围(mm)
D	$\Phi 20 \sim \Phi 140$
L_1	460~2005
d	$\Phi 37 \sim \Phi 238$
e	60~382
f	75~475
g	34~210
h	70~420
k	94~602
调节量	$\pm 70 \sim \pm 475$

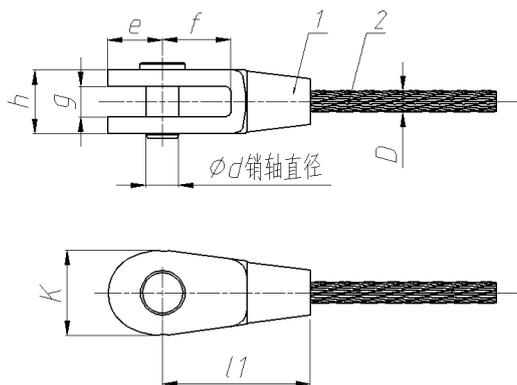


图 B.0.1-2 热铸双耳固定式锚具

1—锚具；2—索体

参数	常用范围(mm)
D	$\Phi 20 \sim \Phi 140$
L_1	155~1000
d	$\Phi 37 \sim \Phi 238$
e	60~382
f	75~475
g	34~210
h	70~420
k	94~602

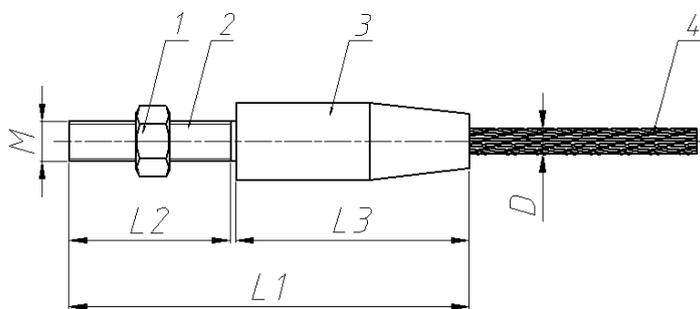
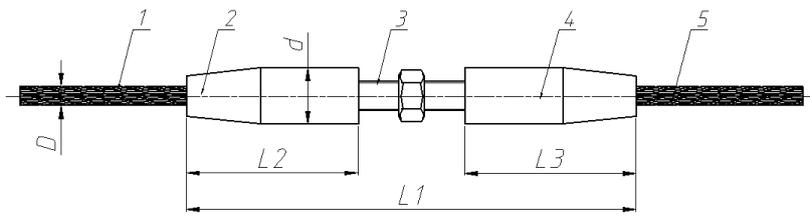


图 B.0.1-3 热铸螺杆调节式锚具

1—调节螺母；2—调节螺杆；3—锚具；4—索体

参数	常用范围(mm)
D	$\Phi 20 \sim \Phi 140$
L_1	265~1435
L_2	130~610
L_3	115~775
M	M36×4~M96×6 Tr105×8~ Tr250×12

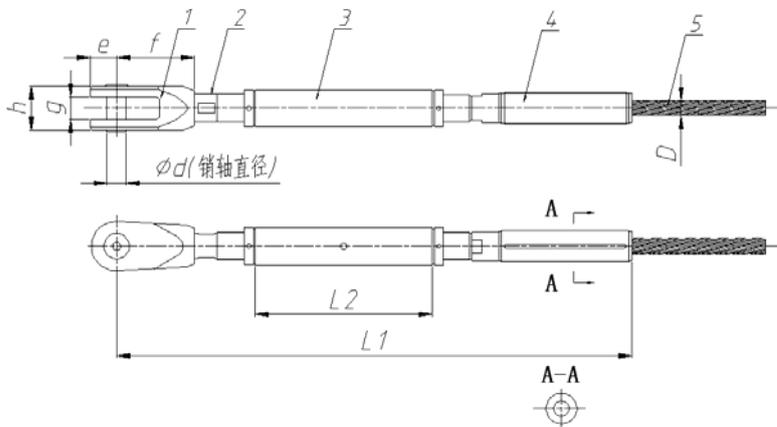


参数	常用范围(mm)
D	$\Phi 20 \sim \Phi 140$
L_1	460~2050
L_2	185~925
d	60~380
调节量	$\pm 70 \sim \pm 150$

图 B.0.1-4 索-索螺杆调节式锚具

1—索体；2—锚具；3—调节螺杆；4—锚具；5—索体

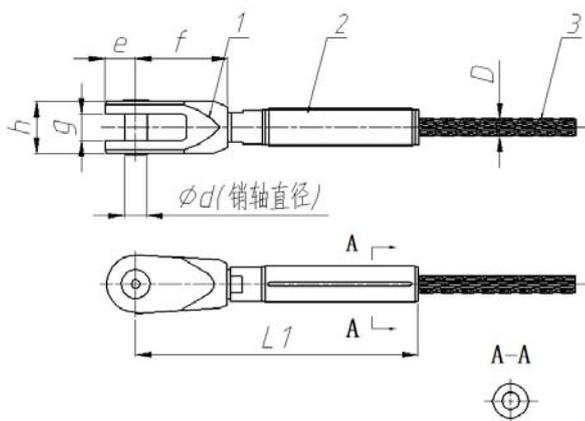
B.0.2 压制锚具可采用下列形式(图 B.0.2-1、2、3)。



参数	常用范围(mm)
D	$\Phi 12 \sim \Phi 30$
L_1	530~1085
L_2	200~375
d	$\Phi 19.5 \sim \Phi 52.5$
e	26~60
f	40~105
g	18~42
h	35~78
调节量	$\pm 60 \sim \pm 100$

图 B.0.2-1 压制双耳调节式锚具

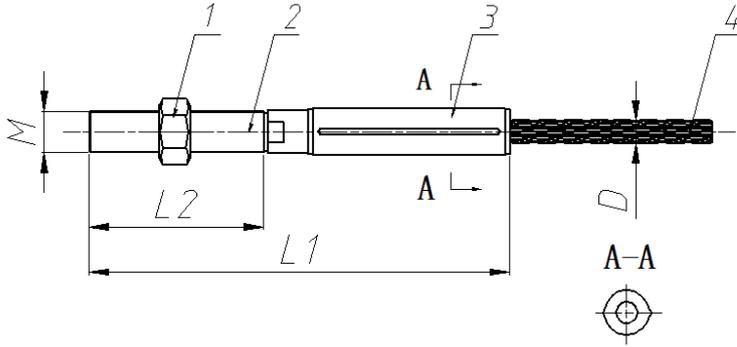
1—双叉耳；2—调节螺杆；3—调节套筒；4—锚具；5—索体；



参数	常用范围(mm)
D	$\Phi 12 \sim \Phi 30$
L_1	225~530
d	$\Phi 19.5 \sim \Phi 52.5$
f	40~105
g	18~42
h	35~78

图 B.0.2-2 压制双耳固定式锚具

1—双叉耳；2—锚具；3—索体；

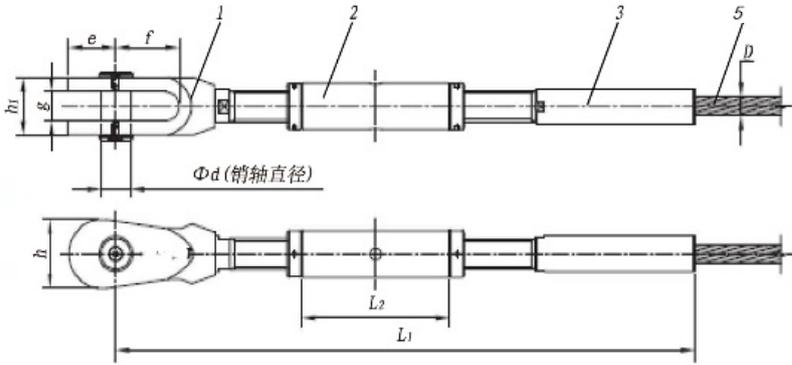


参数	常用范围(mm)
D	$\Phi 12 \sim \Phi 30$
L_1	255~540
L_2	105~195
M	M24~M52

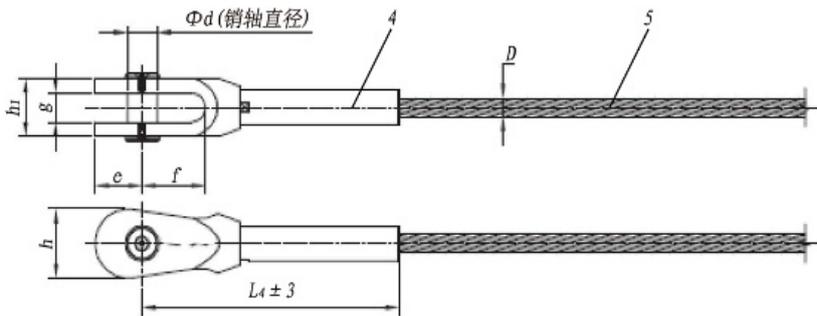
图 B.0.2-3 压制螺杆调节式锚具

1—调节螺母；2—调节螺杆；3—锚具；4—索体；

B.0.3 不锈钢拉索锚具可采用下列形式（图 B.0.3-1、2、3）。



(a) 双叉耳调节式

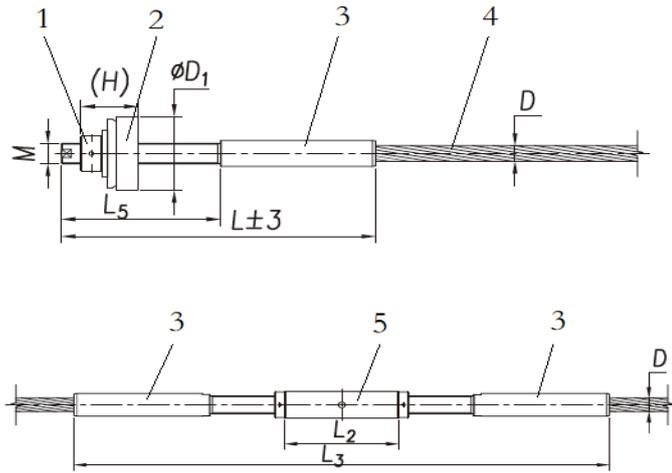


(b) 双叉耳固定式

参数	常用范围(mm)
D	$\Phi 8 \sim \Phi 36$
d	$\Phi 12 \sim \Phi 50$
e	20~77
f	24~106
g	11~45
h_1	22~90
h	28~110
L_1	$\leq 275 \sim 1016$
L_2	80~235
L_4	107~464

图 B.0.3-1 不锈钢拉索压制锚具

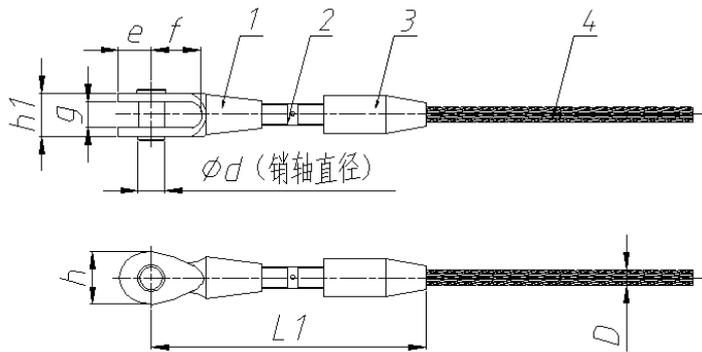
1—双叉耳螺杆；2—调节套筒；3—压制锚具；4—固定式锚具；5—索体



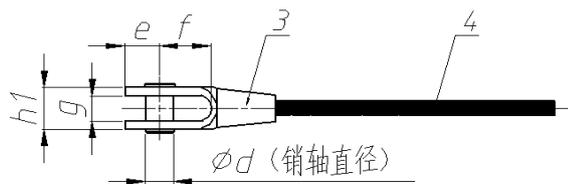
参数	常用范围(mm)
D	$\Phi 8 \sim \Phi 36$
M	M12~M48×3
L	158~573
L_5	90~268
D_1	55~140
H	38~108
L_2	80~235
L_3	≤304~1063

图 B.0.3-2 不锈钢拉索压制螺杆和套筒调节式锚具

1—调节螺母；2—球铰；3—锚具；4—索体；5—调节套筒；



(a) 双叉耳调节式



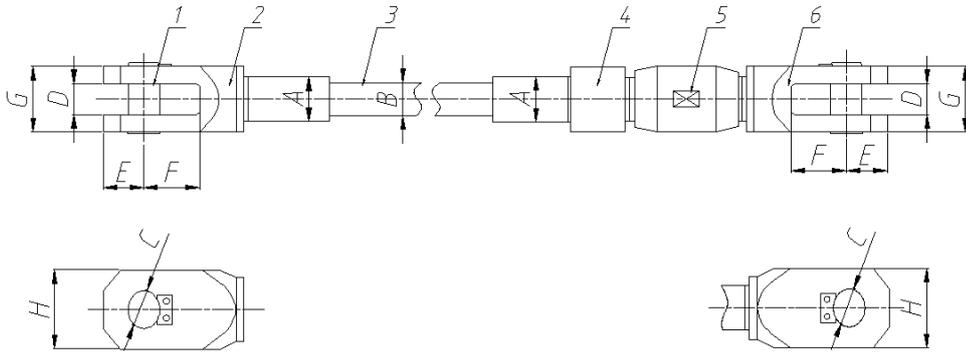
(b) 双叉耳固定式

参数	常用范围(mm)
D	$\Phi 30 \sim \Phi 100$
d	$\Phi 46 \sim \Phi 156$
e	64~210
f	99~328
g	50~167
h_1	84~278
h	104~344
L_1	≤630~1652
L_2	205~660

图 B.0.3-3 不锈钢拉索热铸锚具

1—双叉耳；2—调节螺杆；3—锚具；4—索体；5—固定式锚具

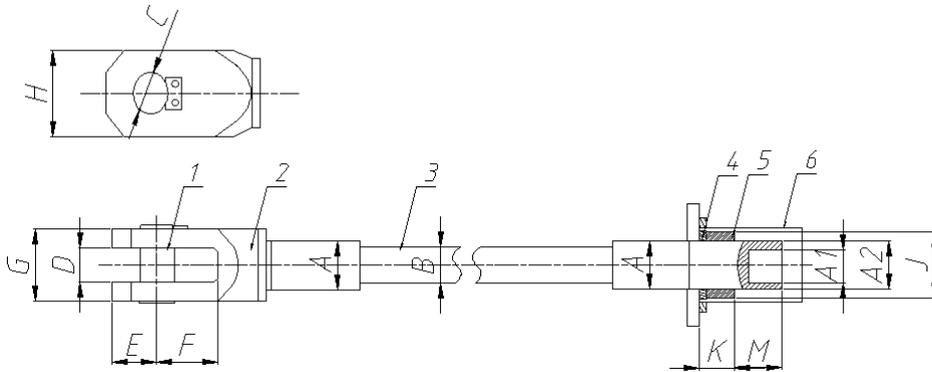
B.0.4 常用钢绞线拉索整束挤压锚具可采用下列形式（图 B.0.4-1、2）。



参数	常用范围(mm)
A	62~208
B	Φ50~Φ145
C	Φ50~Φ175
D	45~145
E	65~210
F	195~380
G	90~290
H	120~380

图 B.0.4-1 UU 型拉索整束挤压锚具

1—销轴；2—固定端叉耳；3—索体；4—连接头；5—调节筒；6—调节端叉耳

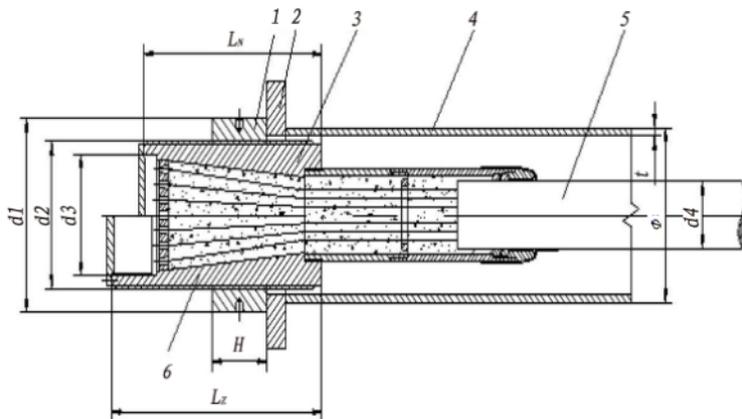


参数	常用范围(mm)
A ₁	M45×3~ M142×10
A ₂	Tr62×4~ Tr200×14
J	Φ95~Φ280
K	60~200
M	55~160

图 B.0.4-2 UM 型拉索整束挤压锚具

1—销轴；2—固定端叉耳；3—索体；4—球形支座；5—球形螺母；6—保护罩；

B.0.5 常用冷铸镦头拉索锚具可采用图 B.0.5 形式。

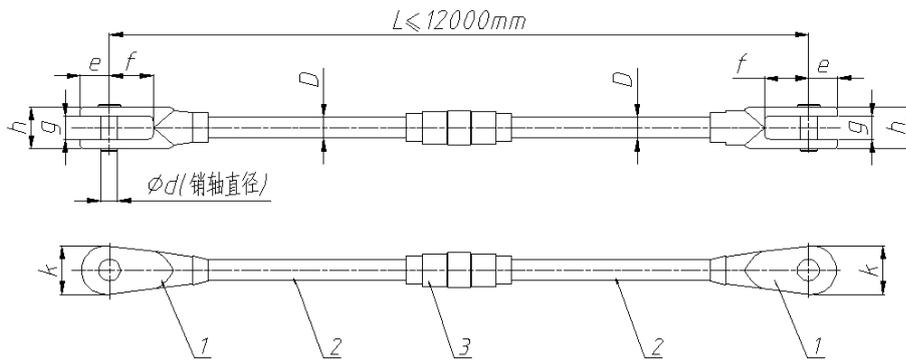


参数	常用范围 (mm)	
	Φ5	Φ7
L _Z	300~380	350~775
L _M	300~310	295~530
H	70~90	90~245
d ₁	Φ170~Φ255	Φ220~Φ545
d ₂	Tr135×6~ Tr200×8	Tr175×8~ Tr420×22
d ₃	Tr105×5~ Tr150×8	Tr130×8~ Tr295×22
d ₄	55~83	72~181
Φ×t	Φ152×4.5~ Φ219×6	Φ194×5~ Φ465×12

图 B.0.5 冷铸镦头拉索锚具

1—螺母；2—垫板；3—固定端锚具；4—预埋管；5—索体；6—张拉端锚具

B.0.6 常用 UU 型钢拉杆锚具可采用图 B.0.6 形式。



参数	常用范围(mm)
D	$\Phi 16 \sim \Phi 250$
d	$\Phi 15.5 \sim \Phi 249$
e	27~335
f	35~480
g	16~250
h	33~485
k	47~600
单边 调节量	$\pm 10 \sim \pm 50$

B.0.6 UU 型钢拉杆锚具

1—双叉耳；2—钢拉杆；3—调节套筒

本标准用词说明

- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《耐候钢结构钢》 GB/T 4171
- 2 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 3 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
- 4 《建筑结构用钢板》 GB 19879
- 5 《厚度方向性能钢板》 GB / T 5313
- 6 《焊接结构用铸钢件》 GB/T 7659
- 7 《一般工程用铸造碳钢件》 GB/T 11352
- 8 《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》 GB/T 20878
- 9 《不锈钢热轧钢板和钢带》 GB/T 4237
- 10 《不锈钢冷轧钢板和钢带》 GB/T 3280
- 11 《优质碳素结构钢》 GB/T 669
- 12 《合金结构钢》 GB/T 3077
- 13 《滚动轴承通用技术规则》 GB/T 307.3
- 14 《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》 GB/T 3098.1
- 15 《紧固件机械性能 螺母》 GB/T3098.2
- 16 《六角头螺栓 C级》 GB/T 5780
- 17 《六角头螺栓》 GB/T 5782 的规定。
- 18 《钢结构用高强度大六角头螺栓》 GB/T 1228
- 19 《钢结构用高强度大六角螺母》 GB/T 1229
- 20 《钢结构用高强度垫圈》 GB/T 1230
- 21 《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》 GB/T 1231
- 22 《紧固件机械性能不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》 GB/T 3098.6
- 23 《紧固件机械性能不锈钢螺母》 GB/T 3098.15
- 24 《非合金钢及细晶粒钢焊条》 GB/T5117
- 25 《热强钢焊条》 GB/T5118
- 26 《不锈钢焊条》 GB/T 983
- 27 《熔化焊用钢丝》 GB/T 14957
- 28 《气体保护焊用钢丝》 GB/T 14958

- 29 《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》 GB/T 8110
- 30 《非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝》 GB/T 10045
- 31 《热强钢药芯焊丝》 GB/T 17493
- 32 《不锈钢药芯焊丝》 GB/T 17853
- 33 《埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂》 GB/T 17854
- 34 《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》 GB/T
5293
- 35 《埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》 GB/T 12470
- 36 《普通螺纹 基本尺寸》 GB/T 196
- 37 《普通螺纹 公差》 GB/T 197
- 38 《普通螺纹 基本牙型》 GB/T192
- 39 《普通螺纹 直径与螺距系列》 GB/T193
- 40 《梯形螺纹 第1部分 牙型》 GBT5796.1
- 41 《梯形螺纹 第2部分：直径与螺距系列》 GBT5796.2
- 42 《梯形螺纹 第3部分 基本尺寸》 GBT5796.3
- 43 《梯形螺纹 第4部分：公差》 GBT5796.2
- 44 《锻轧钢棒超声波检验方法》 GB/T 4162
- 45 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 46 《钢结构焊接规范》 GB50661
- 47 《混凝土结构设计规范》 GB50010
- 48 《钢结构施工质量验收规范》 GB5025
- 49 《工业建筑防腐蚀设计标准》 GB/T 50046
- 50 《建筑设计防火规范》 GB 50016
- 51 《建筑钢结构防火技术规范》 GB 51294
- 52 《索结构技术规程》 JGJ 257
- 53 《网格结构技术规程》 JGJ 7
- 54 《铸钢结构技术规程》 JGJ/T 395
- 55 《公路悬索桥设计规范》 JTG/T D65-05
- 56 《建筑钢结构防腐蚀技术规程》 JG/T 251
- 57 《重型机械通用技术条件 锻钢件无损探伤》 JB/T 5000.15

中国工程建设标准化协会标准

建筑索结构节点设计标准

T/CECS XXX-202X

条文说明